

UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON
- MEDECINE -
U. E. R. ALEXIS-CARREL

Année 1977 - N°

632

L'ANALGESIE ELECTRIQUE TRANSCUTANEE

THESE

présentée

à l'Université Claude-Bernard - LYON

et soutenue publiquement le 22 Décembre 1977

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Jacques GUILMART

né le 16 Novembre 1941

à LYON (Rhône)



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545306_0027

UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON

- MEDECINE -

U. E. R. ALEXIS-CARREL

Année 1977 - N°

L'ANALGESIE ELECTRIQUE TRANSCUTANEE



THESE

présentée

à l'Université Claude-Bernard - LYON

et soutenue publiquement le 22 Décembre 1977

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Jacques GUILMART

né le 16 Novembre 1941

à LYON (Rhône)



— UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I —

Président de l'Université	M. le Professeur D. GERMAIN
Vice Président	M. le Professeur E. ELBAZ
Deuxième Vice Président	M. B. ROUSSET
Troisième Vice Président	M. R. LOPEZ
Secrétaire Général	M. RAMBAUD

UNITES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE DE L'UNIVERSITE :

Médecine : GRANGE BLANCHE	M. le Docteur B. SALLE (MCA)
ALEXIS CARREL	M. le Professeur R. MORNEX
SUD-OUEST	M. le Professeur J. NORMAND
LYON NORD	Directeur : M. le Docteur J.P. NEIDHARDT
	Directeur honoraire : M. le Professeur A. BERTOYE
Biologie Humaine	M. le Docteur J.P. REVILLARD (MCA)
Techniques de Réadaptation	M. le Docteur A. MORGON (MCA)
Sciences Pharmaceutiques	M. le Professeur BIZOLLON
Sciences Odontologiques	M. le Docteur R. VINCENT
Institut régional d'éducation physique et sportive ..	Président du conseil d'UER : M. le Professeur
	R. GUILLET,
	Directeur M. A. MILLON
Mathématiques	M. le Professeur E. COMBET
Physique	M. le Professeur J. DELMAU
Chimie et Biochimie	M. le Professeur J. HUET
Sciences de la Nature	M. le Professeur R. GINET
Sciences Physiologiques	M. le Professeur J.F. WORBE
Institut Universitaire et Technologie n°1	M. le Professeur B. POUYET
Institut Universitaire et Technologie n°2	M. J. GALLET (Directeur ENSAM)
Observatoire	M. M. MONNET (Astronome Adjoint)
Physique Nucléaire	M. le Professeur GUSAKOW
Mécanique	M. le Professeur G. COMPTE-BELLOT.



Monsieur le Professeur L. MANSUY

J'ai l'honneur de vous adresser ci-joint les copies de la thèse de Monsieur le Professeur B. SCHOTT, intitulée : "Sur les courbes algébriques", présentée par Monsieur le Professeur B. SCHOTT, le 15 mai 1967, sous la direction de Monsieur le Professeur L. MANSUY.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Professeur, l'assurance de ma haute estime et de mon profond respect.

Examineurs de la thèse :

Président : Monsieur le Professeur L. MANSUY

Assesseurs : Monsieur le Professeur B. SCHOTT
Monsieur le Professeur R. DELEUZE
Monsieur le Professeur agrégé G. AIMARD
Monsieur le Professeur J. PERRET

MONSIEUR LE PROFESSEUR L. MANSUY

a bien voulu m'accepter dans son service, où ce travail a été effectué, où j'ai pu rencontrer quelques-uns de ses malades, où j'ai utilisé les données rassemblées sous sa direction.

Je l'en remercie bien vivement, ainsi que de l'honneur qu'il me fait de présider le jury de cette thèse.

MONSIEUR LE PROFESSEUR B. SCHÖTT

m'a laissé, de quelques rencontres dans son service, le souvenir de sa culture, de son ouverture d'esprit, et aussi de sa réconfortante chaleur humaine. Je n'oublie surtout pas l'appui qu'il m'a offert à deux reprises dans des circonstances personnelles difficiles.

Je lui en exprime, avec l'hommage de mon admiration, celui de mon immense reconnaissance.

MONSIEUR LE PROFESSEUR R. DELEUZE

m'a laissé d'un semestre d'externat passé dans son service l'excellent souvenir de sa cordialité et de ses talents d'organisateur. Il a bien voulu représenter dans le jury le point de vue de l'Anesthésie-Réanimation et je l'en remercie.

MONSIEUR LE PROFESSEUR G. AIMARD

m'a donné dans son enseignement l'occasion d'apprécier l'éclat d'une pensée brillante, et qui ne laisse personne indifférent ; mais aussi la rigueur de sa méthode dans l'examen et le diagnostic neurologiques.

Je suis heureux qu'il ait accepté de me faire bénéficier une fois de plus de ces qualités dans le jugement qu'il portera sur ma thèse.

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. PERRET

a accepté, malgré toutes ses obligations, de venir depuis Grenoble participer à l'examen de mon travail.

Je le remercie de la bienveillance avec laquelle il a accueilli cette invitation.

MONSIEUR LE DOCTEUR M. SINDOU

ne s'est pas contenté de fournir un sujet. Il a su tout au long de cette étude, la favoriser par le prêt de documents, l'établissement de contacts divers, et plus personnellement par des conseils nombreux et précieux. Dans mes relations avec lui j'ai pu apprécier l'étendue de ses connaissances sans cesse remises à jour et discutées, mais toujours clairement classées ; et aussi sa courtoisie, son altruisme et sa disponibilité permanente.

Je tiens à lui dire ici l'excellent souvenir que je garde de cette collaboration.

Je tiens à remercier les Sociétés :

- AVERY LABORATOIRES*
- L'ELECTRONIQUE APPLIQUEE*
- FRESSENIUS APPARATE K.G.*
- MEDICAL DEVICES INC.*
- LA PHYSIOTECHNIE*
- STIMULATION TECHNOLOGY INC*

qui ont bien voulu répondre à mes demandes de documentation technique concernant leurs appareils.

La Société MEDTRONIC, par l'intermédiaire de son délégué en France M. GARCIA, a accepté de joindre à une documentation technique particulièrement abondante des articles scientifiques issus de sa bibliothèque.

Cette source de renseignements m'a été précieuse et presque indispensable, et justifie une reconnaissance particulière.

I

I N T R O D U C T I O N

Parmi les nombreuses méthodes de traitement de la douleur, l'électro-analgésie a connu récemment une évolution rapide et remarquable : depuis la théorie de la "porte" de MELZACK et WALL (94), en 1965, les diverses techniques correspondantes, et en particulier l'analgésie électrique transcutanée, ont connu un développement très important. Mais, très rapidement, en réaction à un engouement peut être excessif, sont apparues des désillusions, puis des critiques peut-être, elles aussi exagérées.

C'est pourquoi il nous a paru intéressant de nous interroger sur son intérêt, l'utilité et la place de l'analgésie électrique transcutanée.

Pour répondre à cette question nous disposons de deux sources d'information : une série de traitements effectués à l'Hôpital Neurologique de Lyon, et les résultats tirés d'une revue de la littérature jusqu'au début de 1977.

Avant d'analyser ces diverses données, nous rappellerons les points principaux de l'évolution historique de l'analgésie transcutanée, avant et après la théorie de la porte, et ses bases anatomo-physiologiques. Nous présenterons aussi les appareils actuels et leur mode d'utilisation.

Après un exposé et une discussion des résultats, nous essayerons de déterminer les concordances et les discordances qu'ils présentent avec les prévisions théoriques, puis les facteurs de succès ou d'échec de la méthode.

Ainsi, le plan de notre exposé se présente-t-il ainsi :

- I - INTRODUCTION
- II - HISTORIQUE et EVOLUTION des METHODES
 - 1 - Avant la théorie de la porte
 - 2 - Depuis la théorie de la porte
- III - BASES ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES
 - 1 - Eléments anatomiques
 - 2 - Les théories anciennes de la douleur
 - 3 - La théorie de la porte
 - 4 - La neurochimie de la douleur : les endomorphines
 - 5 - L'hyperactivité médullaire de déafférentation
- IV - APPAREILS et METHODES
 - A - Appareils
 - 1 - Les constructeurs
 - 2 - La forme du courant de stimulation
 - 3 - Les générateurs
 - 4 - La forme des impulsions et les réglages possibles
 - 5 - Les électrodes
 - B - Méthodes
 - 1 - Le protocole général
 - 2 - Les risques possibles
- V - ETUDE des DONNEES DE LA LITTERATURE
 - 1 - Publications non étudiées
 - 2 - Présentation des résultats
 - 3 - Résultats d'ensemble
 - 4 - Résultats selon la localisation de la douleur
 - 5 - Résultats selon la localisation des électrodes
 - 6 - Résultats selon la cause de la douleur
 - 1ère partie : douleurs chroniques dites neurologiques
 - 7 - Résultats selon la cause de la douleur
 - 2ème partie : causes diverses non neurologiques
 - 8 - Evolution à long terme des résultats
 - 9 - Commentaires et conclusions

VI - RESULTATS DE L'HOPITAL NEUROLOGIQUE DE LYON

- 1 - Présentation de la série
- 2 - Méthode
- 3 - Les résultats en général
- 4 - Résultats selon le siège de la douleur
- 5 - Résultats selon l'âge et le sexe
- 6 - Résultats selon la cause de la douleur
- 7 - Résultats selon les antécédents de neurochirurgie de la douleur
- 8 - Résultats selon l'ancienneté de la douleur
- 9 - Evolution des résultats dans le temps
- 10 - Incidents et accidents
- 11 - Commentaires et conclusions

VII - DISCUSSION

- 1 - Comparaison de la série de l'Hôpital Neurologique et des séries de la littérature
- 2 - Compatibilité des théories physiopathologiques de la douleur et des résultats
- 3 - Les facteurs de succès et d'échec
- 4 - Possibilités et limites de l'analgésie électrique transcutanée
- 5 - Place de la méthode transcutanée dans l'analgésie de stimulation

VIII - CONCLUSION

IX - TABLES

- 1 - Références bibliographiques
- 2 - Figures
- 3 - Matières.

II

HISTORIQUE ET EVOLUTION DES
METHODES

L'année 1965, où a été publiée la "théorie de la porte" de MELZACK et WALL (94), a marqué un tournant dans l'évolution de l'analgésie électrique transcutanée. Auparavant des techniques existaient, et obtenaient un certain nombre de résultats. Mais c'est la théorie de la porte qui a prévu la première l'effet analgésique d'une stimulation nerveuse ; elle a ainsi donné à l'analgésie électrique transcutanée le prestige nécessaire, pour obtenir l'appui de l'ensemble des médecins, et justifier des contrôles scientifiques.

I - AVANT LA THEORIE DE LA PORTE

L'idée d'utiliser l'électricité à des fins thérapeutiques est très ancienne et s'appuie sur des justifications plus ou moins inconscientes. Il est d'autant plus intéressant de les mentionner qu'elles subsistent encore souvent chez les malades.

L'application de l'électricité produit des sensations plus ou moins désagréables, mais différentes des douleurs spontanément ressenties ; d'où l'idée que l'électricité peut être un antalgique, en vertu du principe selon lequel un mal peut être guéri par un mal voisin, mais un peu différent, autrement dit par "contre-irritation" (128) (145).

L'électricité apparaît de plus comme un moyen mystérieux, provoquant des actions très diverses, mécaniques, chimiques, lumineuses, ... D'où l'idée que parmi ces actions il en existe de thérapeutiques, d'autant plus que les organismes vivants présentent eux aussi des phénomènes électriques.

La première source de courant utilisée pour obtenir une analgésie a été le *poisson-torpille* ; il était recommandé, dans l'antiquité, en particulier pour le traitement de la goutte et des céphalées (56). Les caractéristiques du poisson-torpille rappellent celles des générateurs actuels : tension de 1 à 350 Volts, trains d'impulsions à la fréquence de 200 à 1000 Hertz.

Les méthodes d'analgésie électrique ont ensuite suivi les progrès de la production de l'électricité. C'est ainsi que la découverte d'un nouveau type de générateur était très vite suivie de son application en médecine (53) (128). Ainsi sont apparus successivement :

Les générateurs électrostatiques, à partir du 17^e et du 18^e siècles, avec leurs grands plateaux circulaires de près d'un mètre parfois, mûs par un aide tournant la manivelle. Ils étaient utilisés dans le traitement des

"paralysies" et des "troubles circulatoires". Leurs caractéristiques techniques devaient les rendre pénibles pour l'utilisateur : tension de plusieurs milliers de volts, sous forme de décharges brèves d'une quantité de l'ordre du millième de Coulomb ou moins, à une fréquence de 1 à 10 Hertz.

Les piles électriques, puis les autres générateurs de courant continu (ou "galvanique"), apparus vers 1800, ne semblent pas avoir été utilisés pour leur effet antalgique. En effet, pour obtenir des effets perceptibles, avec des tensions de quelques dizaines de volts, il aurait fallu des générateurs extrêmement encombrants et coûteux.

Les courants d'induction (ou "faradiques"), apparus vers 1830, ont permis d'ajuster les tensions sans limitation et d'obtenir les formes de courant les plus variées (impulsions, sinusoïde, etc ...). Leur utilisation a conduit, à la fin du 19e siècle et au début du 20e aux appareils les plus divers (82).

L'ensemble de ces techniques anciennes et de leurs résultats est difficile à étudier et mal connu, en particulier faute d'informations bibliographiques précises. Les publications de cette époque appuyées sur une réelle expérimentation et proposant une interprétation des résultats sont d'ailleurs rares (8) (39).

Avant la théorie de la porte, l'analgésie électrique transcutanée n'avait pourtant pas été réellement un échec, mais *n'avait pas non plus été adoptée* par l'ensemble du corps médical. Pourquoi ?

L'interprétation théorique de l'action analgésique s'appuyait sur des modifications locales chimiques ou physiques (8). Or de telles modifications pouvaient être produites plus efficacement par des méthodes d'ionisation, d'échauffement, etc ...

Le volume des appareils, qui les rendait intransportables hors du cabinet médical, ainsi que leur prix élevé, empêchaient leur usage courant.

Qui plus est, les médicaments antalgiques se diversifiaient, étaient de plus en plus adaptés et efficaces, et de moins en moins grevés d'effets secondaires indésirables.

2 - DEPUIS LA "THEORIE DE LA PORTE"

Dans l'évolution de l'analgésie électrique, la "théorie de la porte", qui sera développée au chapitre III, a joué un rôle essentiel en donnant la première justification précise à la notion de stimulation analgésique ; plus précisément en prévoyant que la douleur pouvait être bloquée au niveau médullaire par excitation de fibres afférentes inhibitrices.

Mais d'autres facteurs ont joué simultanément : c'est ainsi que l'évolution de la technologie électrique (électronique, transistors) a permis de construire des générateurs stables, peu encombrants, simples, fiables, et même implantables pour de longues durées à l'intérieur du corps humain.

Comme les problèmes de douleurs chroniques rebelles étaient confiés habituellement aux neurochirurgiens, ceux-ci ont été les premiers à essayer la stimulation analgésique. Pour assurer une meilleure efficacité de la stimulation, et grâce à leur connaissance des techniques chirurgicales, ils ont commencé par utiliser des *dispositifs implantés* (112) : WALL et SWEET sur les nerfs périphériques (143) SHEALY sur la moelle (114).

Ils ont constaté assez vite que certains malades répondaient mal à la stimulation : de là l'idée de sélectionner les candidats à une implantation définitive par des essais transcutanés, au moyen d'électrodes fixées à la peau (SHEALY (114), LONG (82)). Il est apparu alors que cette méthode, en cas de succès, pouvait constituer à elle seule un mode de traitement valable.

La stimulation transcutanée ne permet cependant pas de reproduire fidèlement les conditions de l'implantation ; c'est pourquoi HOSOBUCHI et al (44) puis d'autres auteurs (28) (152) ont mis au point une méthode d'introduction des électrodes, au contact de la structure nerveuse à stimuler, par *voie percutanée* (à l'aide d'un trocart) sans contrôle visuel direct, mais avec vérification de la position de l'électrode par des méthodes radiologiques et électrophysiologiques (évocation de paresthésies par la stimulation). L'efficacité antalgique est ensuite vérifiée par quelques jours d'essai en utilisant un générateur externe. En cas de succès, on passe alors à l'implantation définitive des électrodes.

Au terme de sa longue évolution, l'analgésie électrique transcutanée n'est donc plus qu'une des nombreuses techniques de stimulation neurologique. Elle reste de loin la plus ancienne, mais aussi, par ses perfectionnements récents, la plus facile à utiliser.

III

BASES ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES

Cette annexe n'a pas pour but d'exposer complètement les théories de la douleur et les controverses auxquelles elles ont donné lieu, mais simplement de rappeler des éléments dont il est question dans cette étude.

Pour des développements plus détaillés on se reportera aux articles de synthèse qui ont inspiré ce résumé, en particulier (1) (87) (89) (105) (109) (122).

1 - ELEMENTS ANATOMIQUES

Dans les *nerfs périphériques* sensoriels et leurs racines, la plupart des auteurs admettent que les fibres de petit calibre myelinisées A delta et amyeliniques C jouent un rôle essentiel dans la nociception. Ces fibres ont un seuil d'excitabilité plus élevé et une vitesse de conduction plus faible que les fibres myelinisées de gros calibre A alpha et A bêta (ces dernières vectrices des sensibilités proprioceptives conscientes et tactiles épicrotiques).

Dans les *cornes postérieures de la moelle* les voies afférentes de la nociception se projettent sur les dendrites apicaux des neurones d'origine des voies nociceptives extralemniscasles, situées au niveau de la substance gélatineuse de ROLANDO, dont les éléments sont reliés sur plusieurs métamères par le tractus de LISSAUER (57) (58) (112). Cette région de la corne postérieure est aussi l'aboutissement de voies descendantes en provenance de l'encéphale (figure 1).

Dans l'*encéphale* la voie nociceptive ascendante de la moelle projette sur la rétículo du tronc cérébral et le thalamus aspécifique, qui déclenchent au niveau sous cortical les mécanismes d'éveil et les réactions végétatives ou émotionnelles, et dans le cortex la prise de conscience de la douleur et les réactions comportementales adaptées à la lutte contre l'agression douloureuse.

2 - LES THEORIES ANCIENNES DE LA DOULEUR

Selon la *théorie des systèmes séparés* la douleur serait transmise au cortex par des voies spécifiques : fibre A delta et C, substance gélatineuse de ROLANDO, faisceau spino-réticulo-thalamique, rétículo du tronc cérébral et noyaux non spécifiques de thalamus.

Conformément aux idées de NOORDENBOS (103 bis), ces voies emprunteraient le système réticulaire, formé de neurones à axones courts, permettant une transmission polysynaptique donc lente ; par opposition au système lemniscal

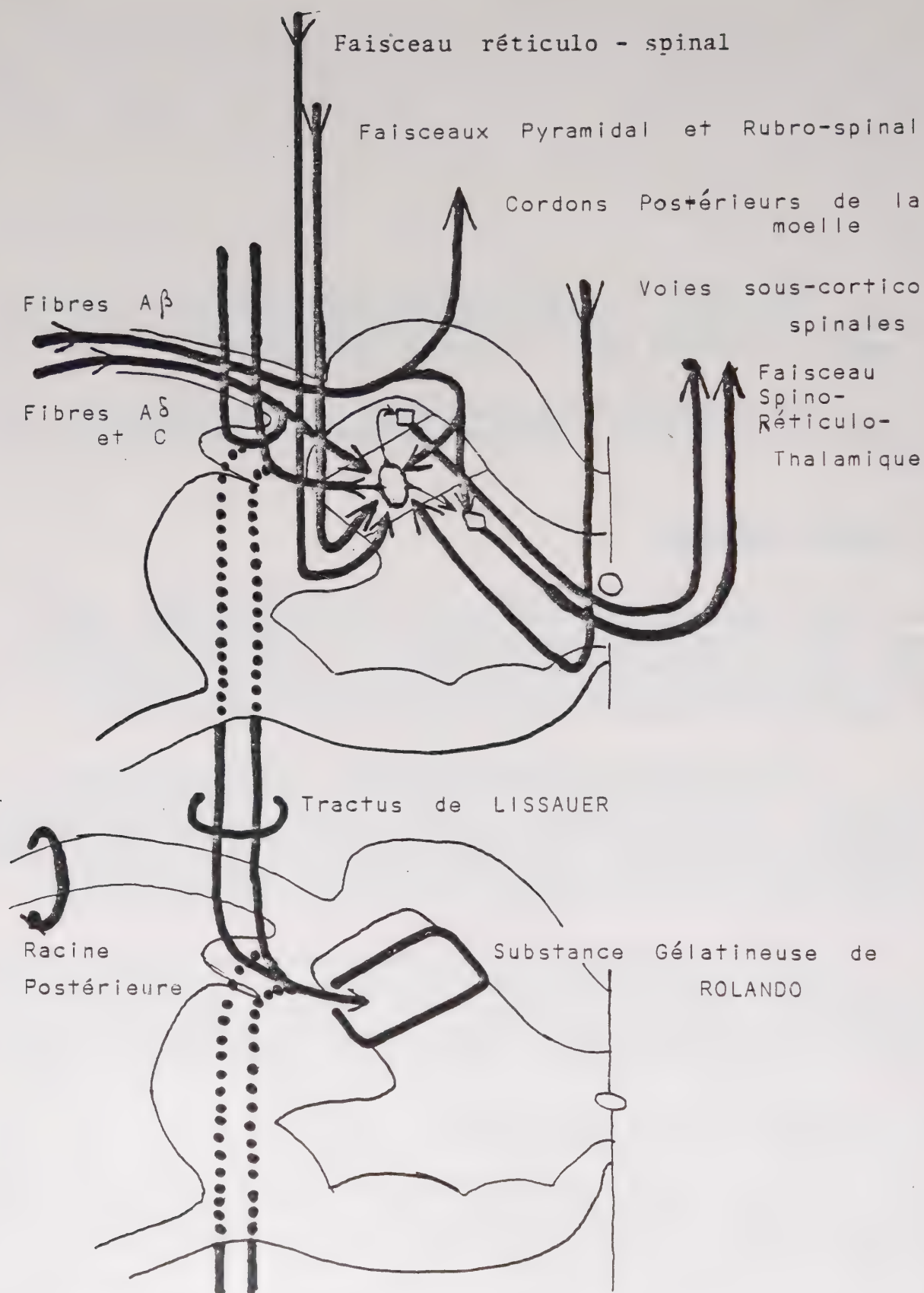


Figure 1 : Organisation histophysologique de la moelle. D'après MANSUY et SINDOU [87bis] et SINDOU Thèse Lyon (1972)

véhiculant à grande vitesse sur des axones de gros calibre les sensibilités épicrotique et proprioceptive (9) (12).

La *théorie des "patterns"*, inversement, considère que la douleur apparaît quand il existe dans les fibres afférentes une certaine structure temporo-spatiale des influx (120). Faute de préciser les caractères spécifiques de cette structure, la théorie reste une idée un peu vague, sinon pour constater que des perceptions fortes, étendues et durables sont volontiers douloureuses.

3 - LA THEORIE DE LA PORTE

Introduite en 1965 par MELZACK et WALL sous le nom de "gate control theory" (94), la *théorie de la porte, sous sa forme originelle* se résume dans le schéma de la figure 2. Il en résulte que les influx nociceptifs véhiculés par les fibres fines A delta et C peuvent être inhibés à leur entrée dans la moelle par l'activité des grosses fibres afférentes A bêta, ou des voies descendantes inhibitrices. En d'autres termes l'activité des petites fibres ouvre la porte aux influx douloureux vers les voies ascendantes spino-réticulo-thalamiques, alors que l'activité des grosses fibres ferme cette porte. (Pour plus de détails, se reporter à des exposés complets (94) (73)).

La théorie de la porte a eu un grand succès, car elle expliquait un certain nombre de syndromes douloureux non interprétables par les théories classiques. En outre, elle a été à l'origine d'essais de thérapeutique antalgique, en particulier par stimulation des voies inhibitrices.

Largement connue, étudiée et critiquée, la théorie de la porte a laissé apparaître quelques *points faibles* (99) (144) :

Elle est effectivement schématique, car elle classe les fibres afférentes en deux catégories seulement, et s'appuie principalement sur des expériences d'électrophysiologie animale. Elle est aussi incomplète car elle n'explique pas les différents modes de douleur (brûlure, piqure, etc ...) Mais toute théorie est schématique et aucune n'est universelle !

La théorie de la porte n'est pas infirmée par les critiques de détail qui précèdent. Mais il en est de plus graves, qui ont pu la faire considérer comme fausse : en physiologie expérimentale, la perception de stimulations douloureuses n'est inhibée que de manière inconstante par l'excitation des grosses fibres myelinisées (93) (97) (100) (110) (135) (138). En physiopathologie clinique, il n'existe pas toujours de correspondance entre le caractère douloureux des neuropathies périphériques et la perte de grosses fibres myelinisées (24) (99) (137).

Enfin en thérapeutique on observe des échecs de l'analgésie par stimulation. Ces discordances entre l'expérience et les conséquences prévisibles de la théorie de la porte seront d'ailleurs reprises avec plus de détails dans la discussion des résultats de notre étude.

D'autres études de caractère plus constructif suscitées par la théorie de la porte ont apporté de notables *perfectionnements* : localisation anatomique

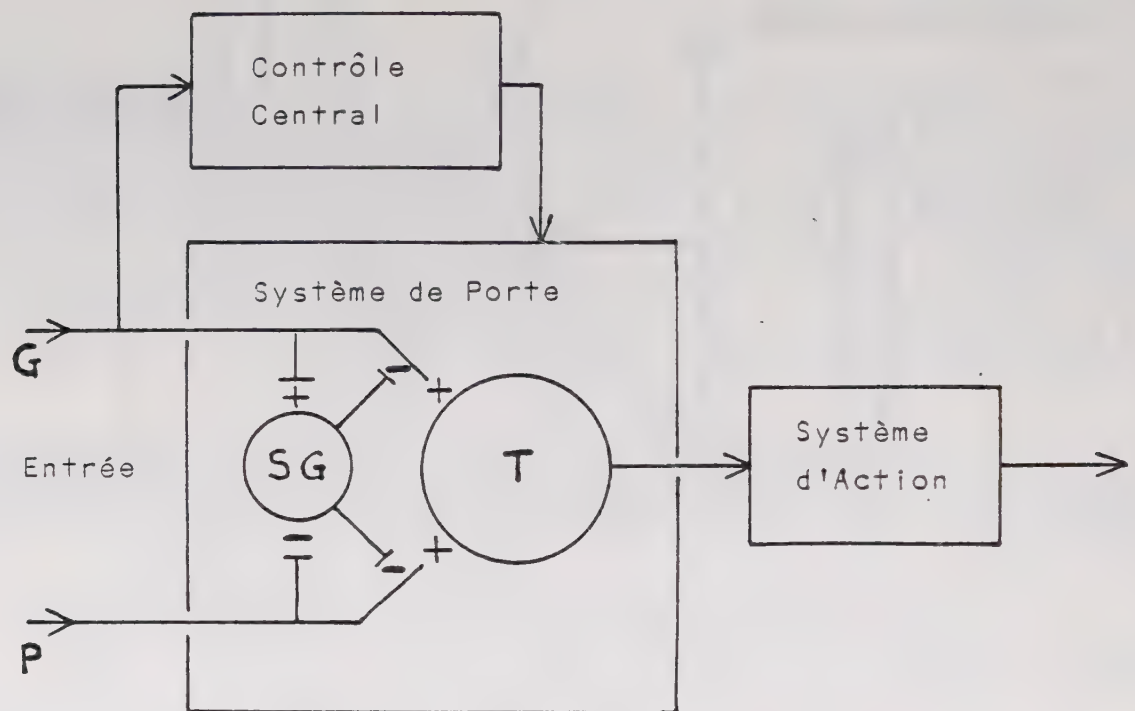


Figure 2 :Schéma fonctionnel originel de la théorie de la porte (d'après MELZACK et WALL [74])

G : Grosses fibres
 P : Petites fibres
 SG : Substance gélatineuse
 T : première cellule de Transmission
 + : activation ; - : inhibition

des différentes fonctions (42), en particulier de l'inhibition centrale (88), importance du contrôle postsynaptique par rapport au contrôle présynaptique (57), diminution de l'activité de la substance gélatineuse par l'activité des fibres fines, absence de correspondance exacte entre aspect histologique et rôle fonctionnel des fibres périphériques.

Ces perfectionnements de la théorie de la porte peuvent être représentés en résumé par le schéma fonctionnel de la figure 3, dont les propriétés sont d'ailleurs globalement les mêmes que celles de la théorie originelle (144).

4 - LA NEUROCHIMIE DE LA DOULEUR : LES ENDOMORPHINES

En plus des neuro-transmetteurs synaptiques non spécifiques, HUGHES a découvert dans le système nerveux des substances dont l'action est inhibitrice de la douleur : les endomorphines ou endorphines (10). Au point de vue chimique, il s'agit de peptides, fragments des bêta-lipoprotéines hypothalamiques, qui présentent avec la morphine des analogies de structure moléculaire (43) et d'action pharmacologique (146).

Les fonctions physiologiques des endorphines, leurs possibilités thérapeutiques sont variées, et ne sont pas encore complètement répertoriées. En ce qui concerne l'analgésie, elles interviendraient comme médiateurs de l'acupuncture d'une part (52), des méthodes de stimulation de l'encéphale d'autre part (167), en plus de possibilités d'une sécrétion spontanée éventuelle encore mal précisée.

Le mode d'action des endorphines n'est pas totalement précisé. Elles apparaissent dans le tronc cérébral ou elles ont une action locale de neurotransmetteur. Elles provoquent aussi une excitation des voies descendantes inhibitrices de la douleur (1) (86) (88) (figure 4). Elles pourraient en plus diffuser dans le liquide céphalo-rachidien.

Par contre les mécanismes physiologiques ou physiopathologiques qui déclenchent la sécrétion des endorphines restent inconnus.

5 - L'HYPERACTIVITE MEDULLAIRE DE DEAFFERENTATION

Dans cette partie il nous a semblé intéressant de signaler une étude qui semble être restée isolée, mais dont les résultats permettent une interprétation de l'origine et de l'évolution de certaines douleurs chroniques.

Des enregistrements électrophysiologiques de l'activité des neurones de la corne postérieure ont été menés par LOESER et WARD sur la moelle privée de ses afférences périphériques par radicotomie postérieure, ou privée des afférences en provenance des métamères voisins par des sections médullaires (75). Conformément à la loi générale d'hyperactivité des neurones déafférentés, on constate que l'activité spontanée ou provoquée de la corne postérieure de la moelle est alors très augmentée.

Dans cette observation réapparaît une notion de la théorie de la porte : il existe des phénomènes inhibiteurs de l'activité médullaire, ce qui explique que la perte d'afférences puisse conduire paradoxalement à un excès d'activité.

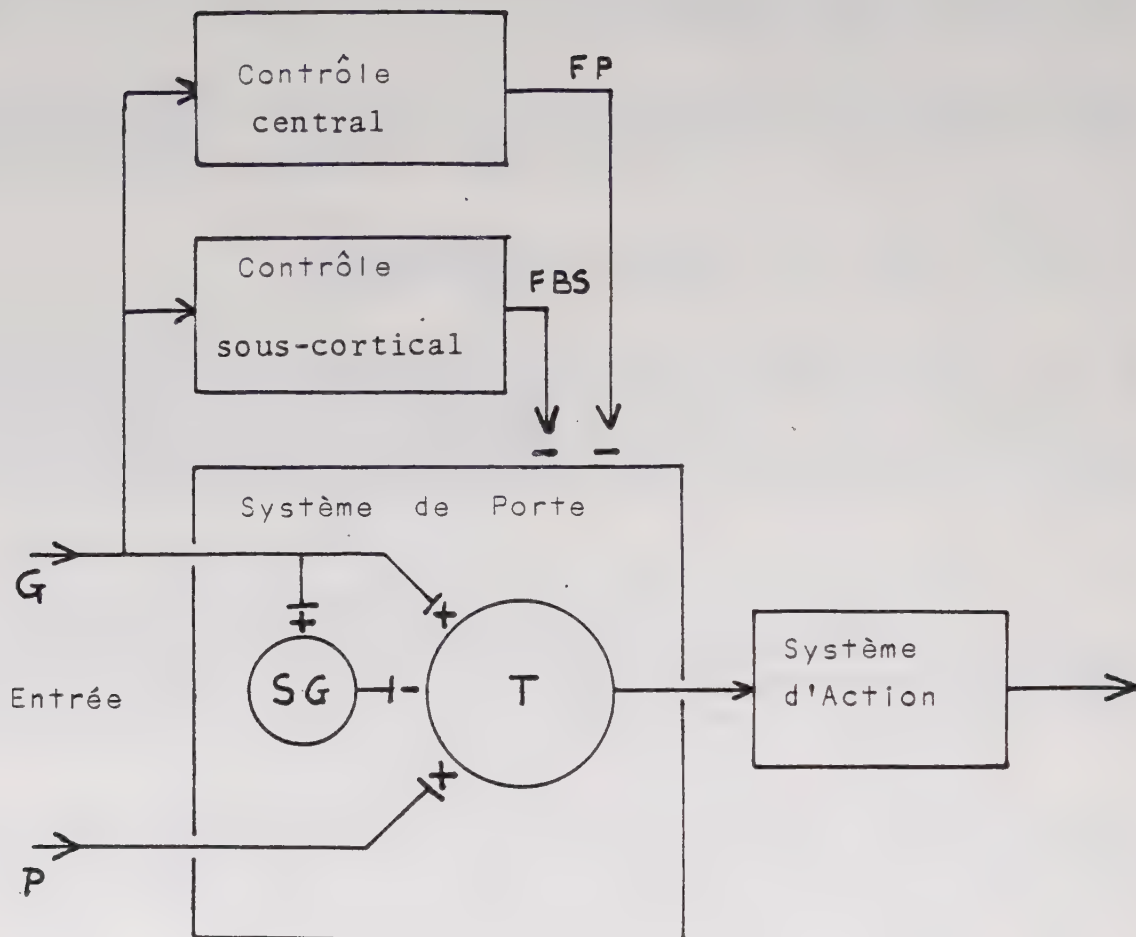


Figure 3 : Schéma fonctionnel . actuellement admis de la théorie de la porte.

G : grosses fibres
 P : Petites fibres
 SG : Substance Gélatineuse
 T : première cellule de Transmission
 FP : Faisceau Pyramidal
 FBS : Faisceau Bulbo Spinal
 + : Activation ; - : Inhibition

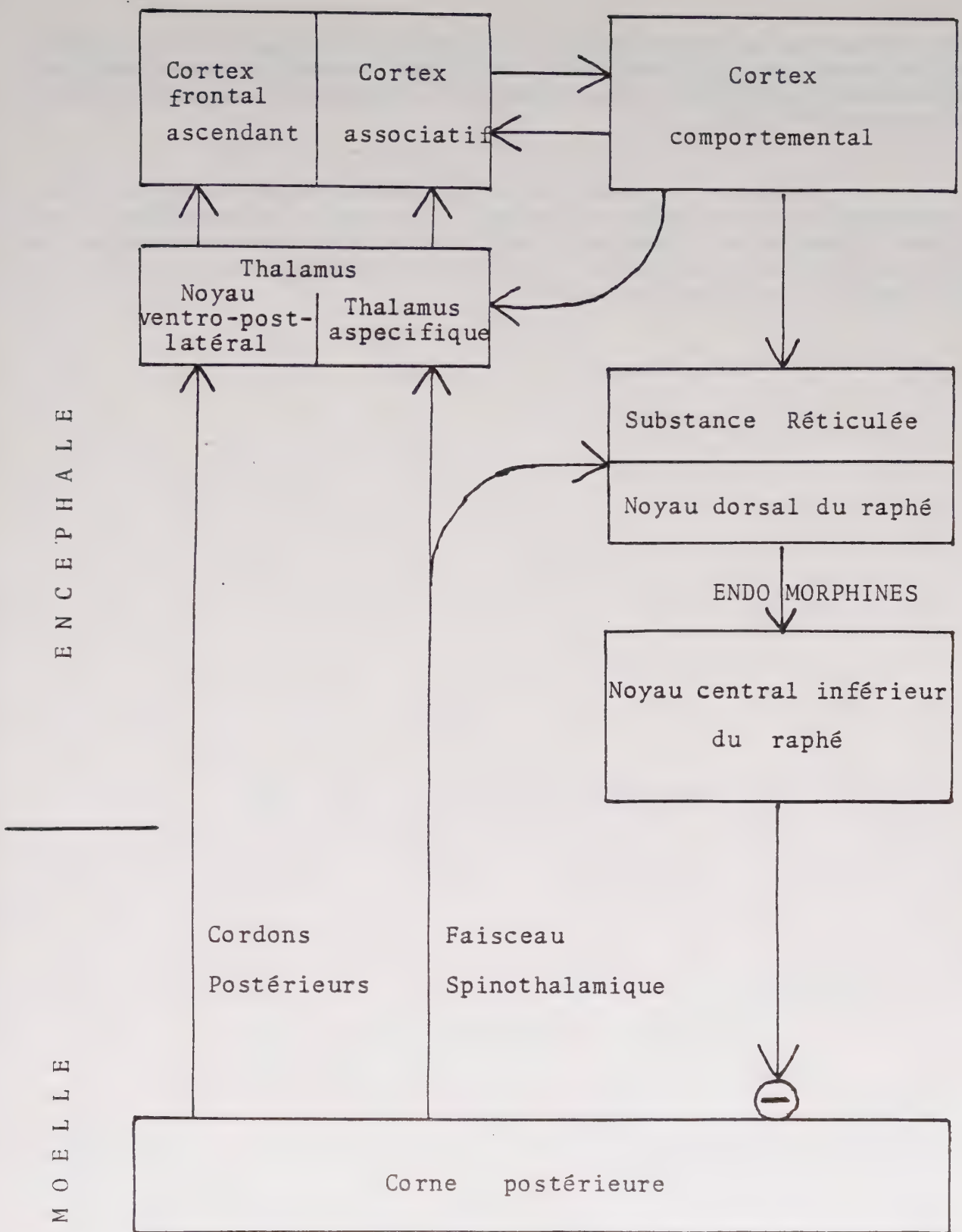


Figure 4 : Schéma fonctionnel de l'action des endomorphines . D'après [1] et [86]
(- : inhibition)

Dans l'apparition de l'hyperactivité de déafférentation, qui se produit après un délai assez long (plusieurs jours chez le chat) peuvent également jouer des modifications histologiques, des adaptations biochimiques ou des modifications des synapses (84) (130).

En conclusion, la théorie de la porte semble le meilleur guide pour l'interprétation de la plupart des douleurs. L'existence des endorphines y trouve sa place, comme une part essentielle des systèmes inhibiteurs descendantes. Les points sur lesquels la théorie de la porte est discutable ne sont d'ailleurs pas mieux expliqués par d'autres théories ...

IV

APPAREILS ET METHODES

A - APPAREILS

1 - LES CONSTRUCTEURS

L'établissement d'une liste complète de constructeurs d'appareils pour l'analgésie électrique transcutanée serait bien difficile. Nous nous limitons donc aux fabricants cités par les spécialistes dans leurs études cliniques, ou faisant de la publicité dans les revues médicales (Tableau n° 5).

2 - LA FORME DU COURANT DE STIMULATION

La "théorie de la porte" prévoit que toute excitation des fibres de gros calibre à seuil d'excitation bas doit avoir une action inhibitrice sur la douleur (94) ; n'importe quel courant excitateur d'intensité inférieure au seuil de douleur, mais provoquant des paresthésies, doit donc avoir un effet antalgique. Les différents constructeurs, qui ont eu la liberté de choisir la forme de courant la plus facile à fabriquer, sont arrivés à des solutions voisines (53).

Il est préférable d'utiliser des générateurs de puissance moyenne modérée. En effet, cette puissance, étant transformée en chaleur, risquerait de produire des brûlures soit profondes, soit cutanées au contact des électrodes. De plus, cette puissance doit pour des appareils portatifs, provenir de piles ou de batteries dont la durée de vie décroît très vite avec la puissance fournie.

La seule forme de courant conciliant une faible puissance moyenne, et une puissance instantanée suffisante pour provoquer une excitation nerveuse, est une suite d'impulsions brèves par rapport aux intervalles qui les séparent.

Les piles ou batteries, ainsi que les circuits à transistors, correspondent à des tensions de quelques volts. Or l'excitation transcutanée demande des tensions de plusieurs dizaines de volts. Le passage des unes aux autres est assuré par un transformateur d'induction, repris des anciens générateurs de courant "faradique". Le transformateur présente de plus l'avantage d'éviter absolument la présence d'une composante continue dans le courant d'excitation, donc les effets électrolytiques sur les électrodes. Les phénomènes d'électrolyse risqueraient en effet de provoquer la formation de composés chimiques irritants pour la peau, ou de gaz empêchant le passage du courant.

TABEAU DES CONSTRUCTEURS D'APPAREILS POUR LA STIMULATION TRANSCUTANEE

MARQUE	FABRICANT	REPRESENTANT OU FABRICANT SOUS LICENCE LE PLUS PROCHE
* BIPULSE	NEUREX INC	FRESENIUS APPARATE KG Postfach 1480 6380 BAD HOMBURG (Allemagne)
* MICROCEPTOR		MEDGENERAL INC Box 17 1320 GENVAL (Belgique)
* NEUROMOD	MEDTRONIC INC 3055 Old Highway Eight MINNEAPOLIS MINNESOTA 55418 (USA)	MEDTRONIC FRANCE S.A. 120 Avenue Charles de Gaulle 92200 NEUILLY SUR SEINE (France) et 15 Boulevard Docteur David Olmer 13005 MARSEILLE (France)
* NEUROPAC	MEDICAL DEVICES INC 833 Third Street Southwest SAINT PAUL-MINNESOTA - 55112 (USA)	
* NEUROSTAL	AVERY LABORATORIES 145 Rome Street FARMINGDALE-NEW JERSEY - 11735 (USA)	L'ELECTRONIQUE APPLIQUEE 98-100, rue Maurice Arnoux 92120 MONTRouGE (France) et 60, rue Waldeck Rousseau 69006 LYON (France)
* STIMTECH	STIMULATION TECHNOLOGY INC 9440 Science Center Drive MINNEAPOLIS MINNESOTA 55428 (USA)	
?	EMSET OY POB 325 00101 HELSINKI 10 (Finlande)	

Pour achever de définir le courant d'excitation, il suffit de préciser qu'il s'agit d'impulsions périodiques à fréquence fixe, solution justifiée par la simplicité du générateur correspondant.

Tous les appareils produisent donc un courant formé d'impulsions brèves, périodiques, amplifiées par induction, solution qui présente le maximum d'avantages dans la perspective de la théorie de la "porte".

D'autres solutions sont cependant envisageables et ont été essayées avec des succès divers : courant continu ou lentement variable (102), (142), superposition de courant alternatif à 25 ou 50 Hertz et de courant lentement variables (8), (104), impulsions unipolaires (39), impulsions de forme fixe mais d'apparition aléatoire, telles qu'on les utilise en électroacupuncture (103), impulsions de fréquence basse à 2 ou 3 Hertz, également utilisées en électroacupuncture.

3 - LES GENERATEURS

Sans vouloir reproduire les catalogues des constructeurs, nous voulons ici évoquer les principaux caractères des appareils dont nous avons eu connaissance*.

Leur encombrement permet de les placer dans une poche (de 64 x 57 x 16 mm pour le plus petit à 125 x 75 x 25 mm pour le plus gros). Leur poids en ordre de marche va de 84 à 336 grammes. Leur aspect extérieur est évoqué sur les figures 6.

Deux solutions sont possibles pour la source d'énergie. Deux constructeurs proposent des appareils à piles jetables, plus commodes, moins coûteux à l'achat, mais d'utilisation plus onéreuse. Trois constructeurs proposent des appareils à batteries rechargeables sur le secteur dont les avantages et inconvénients sont exactement opposés.

Le schéma fonctionnel des générateurs est représenté figure 7. Il laisse la possibilité de variantes qui font la différence entre les appareils de marques diverses.

Plusieurs constructeurs proposent des générateurs multiples à réglages entièrement ou partiellement indépendants, qui peuvent avoir un grand intérêt pour les malades souffrant de douleurs à localisations multiples.

*Voir aussi (161) (162).

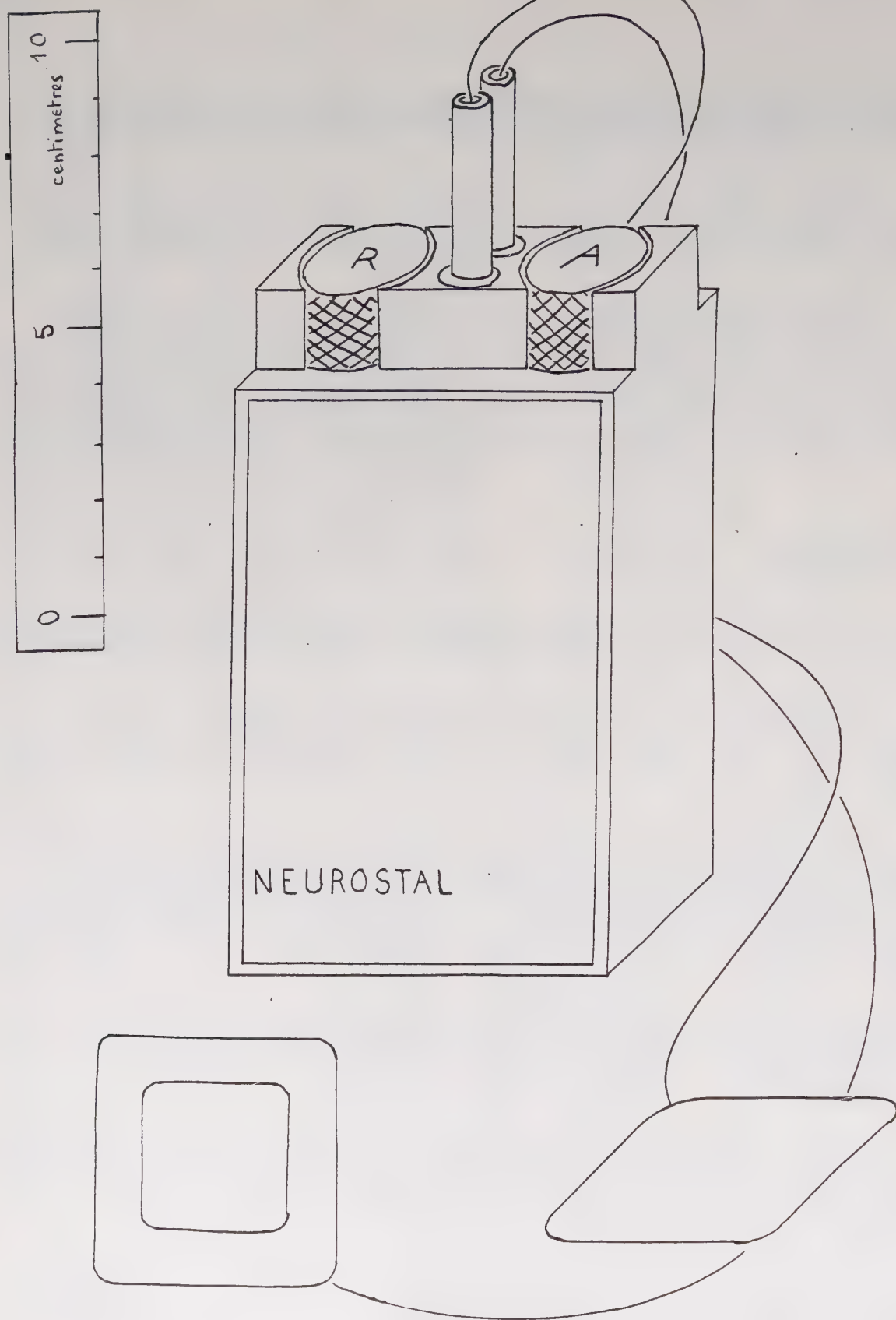


Figure 6 a : Aspect extérieur des appareils de stimulation

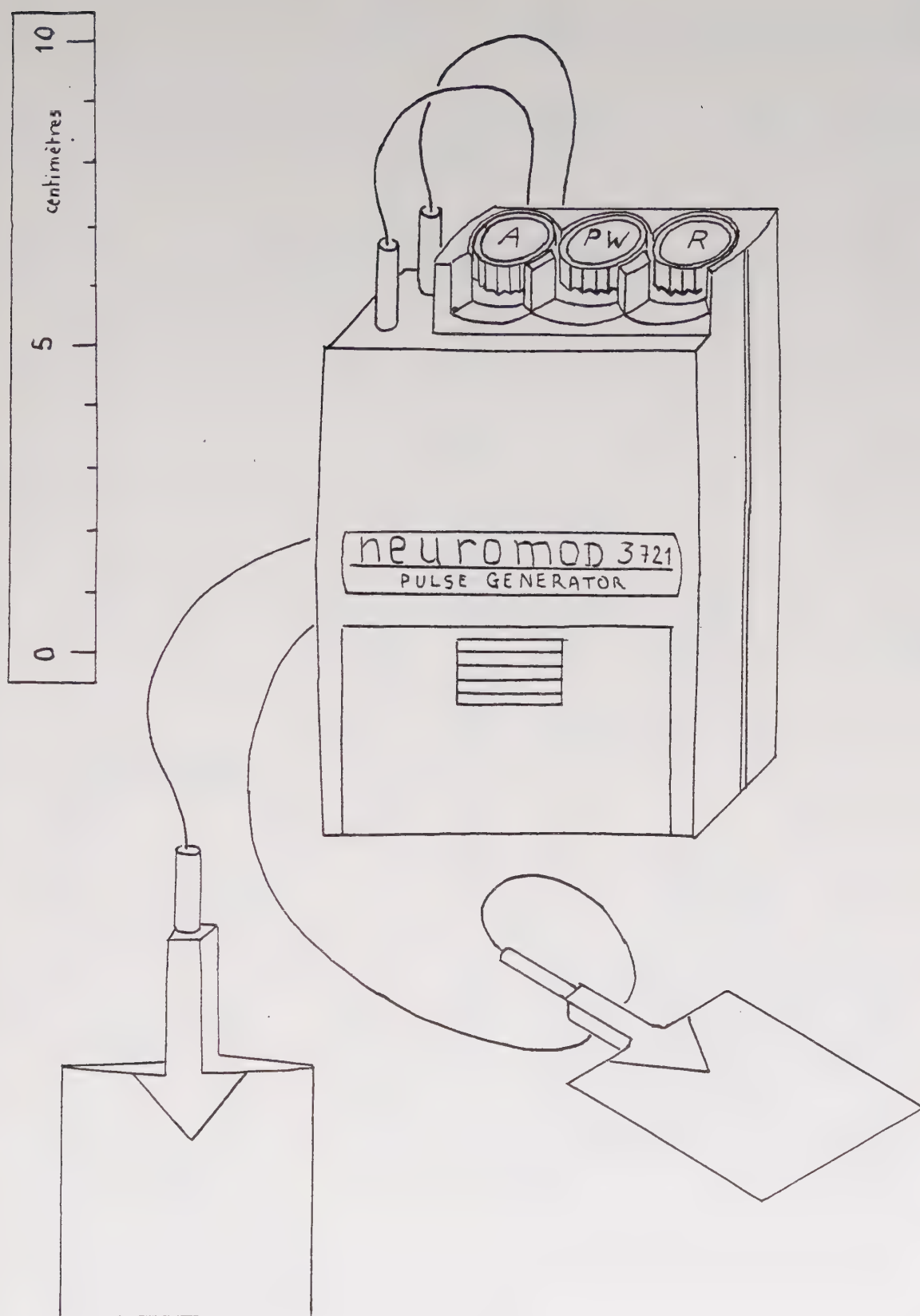


Figure 6 b : Aspect extérieur des appareils de stimulation .

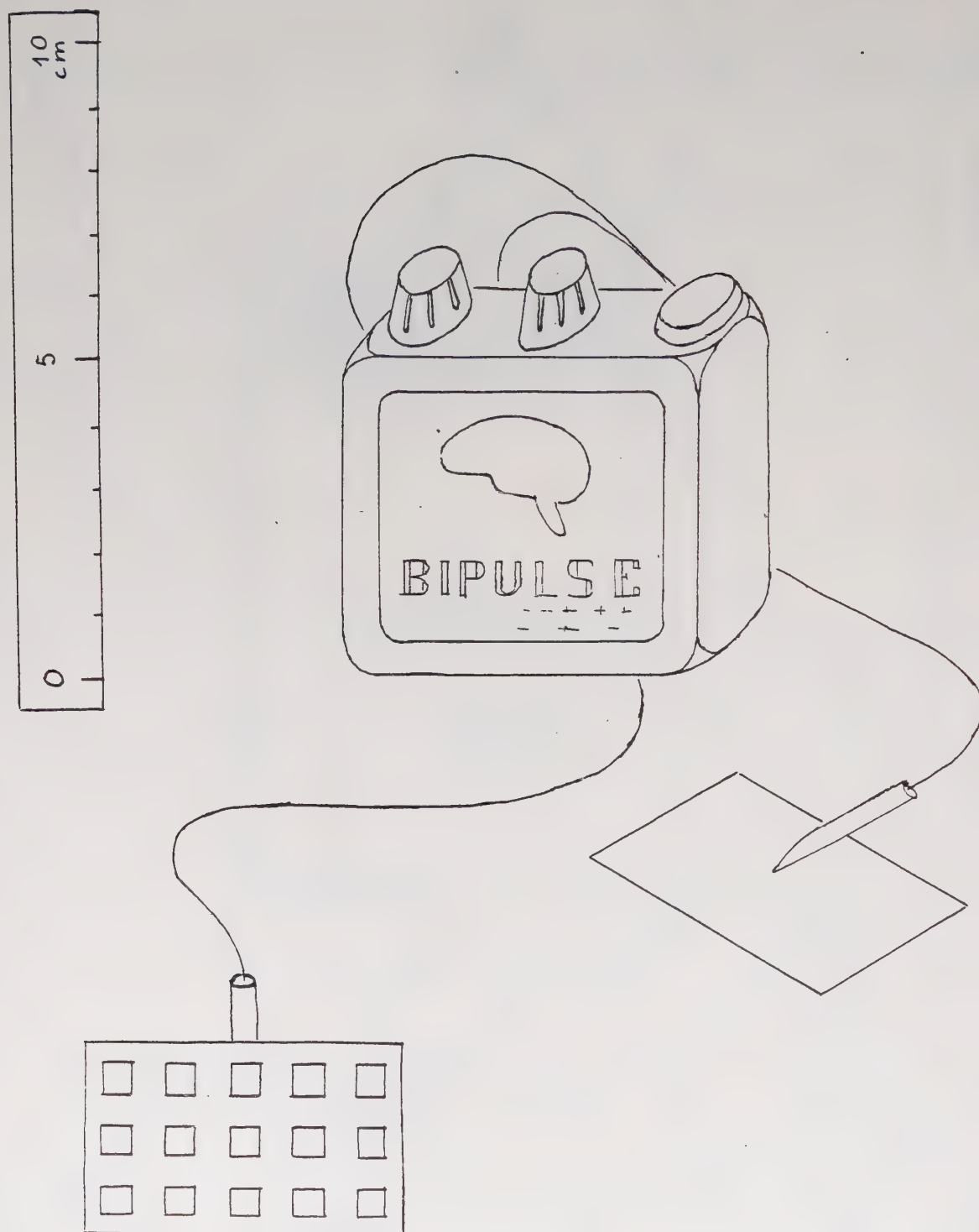


Figure 6 c :Aspect extérieur des appareils de stimulation .

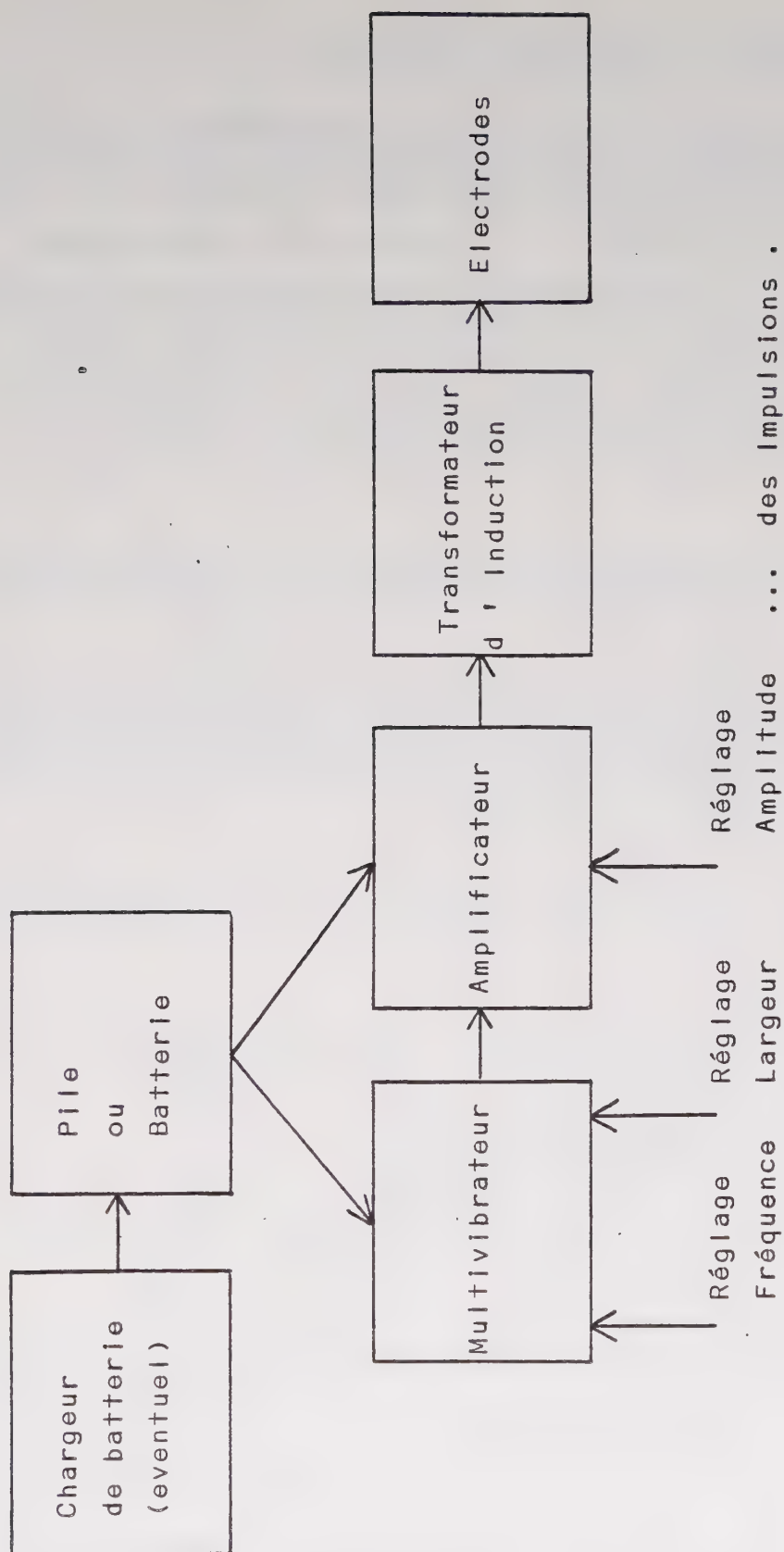


Figure 7 : Schéma de principe des Générateurs de Stimulation

4 - LA FORME DES IMPULSIONS ET LES REGLAGES POSSIBLES

A la sortie de l'oscillateur, selon les appareils, on trouve soit des impulsions simples (figure 8a), soit des impulsions doubles (figure 8b). Mais rien dans les notices des constructeurs ou les compte-rendus cliniques n'indique une différence dans l'effet analgésique.

Les impulsions ne conservent pas leur forme parfaitement rectangulaire du fait de deux facteurs intriqués : le transformateur d'induction ne laisse pas passer toutes les composantes, et peut présenter des oscillations propres ; le circuit formé par les électrodes, la peau et les tissus du sujet présente des propriétés complexes qui sont plus ou moins bien décrites par divers modèles (13), (15), (107), (112). Ce circuit est plus complexe que la résistance de quelques milliers d'ohms à laquelle il se réduit en première approximation.

Pour illustrer les déformations possibles nous avons reporté sur la figure 8 des exemples de formes d'impulsions prises sur des catalogues de constructeurs (figure 8 c et d) ou des articles de revues (figure 8 e et f).

Quelques auteurs ont cherché à préciser quelle forme d'impulsion donnait les meilleurs résultats (82) ou si le générateur devait être réglé en courant plutôt qu'en tension (107), (118). Mais il faut reconnaître que ces problèmes n'intéressent pas les cliniciens, et que les résultats bons ou mauvais ne sont jamais attribués à tel ou tel type d'impulsions.

Pratiquement les possibilités de réglage des appareils sont les suivantes :

- Fréquence réglable entre

un minimum de 12 à 85 Hertz

un maximum de 100 à 180 Hertz

selon les appareils

- Largeur des impulsions

soit fixe de 200 à 750 microsecondes

soit réglable de 20 à 600 microsecondes

- Amplitude en tension réglable entre

un minimum de 0 à 10 volts

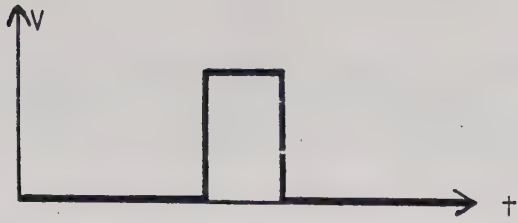
un maximum de 80 à 120 volts

selon les appareils

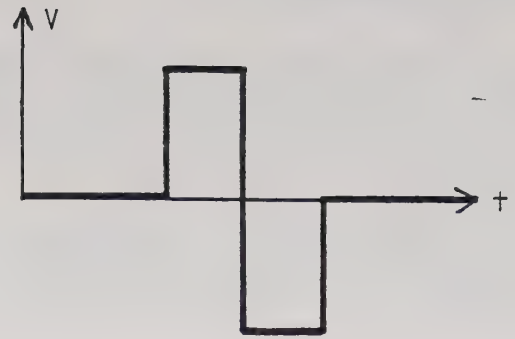
(tension mesurée avant branchement des électrodes, diminuée quand le générateur est en action).

- Amplitude en courant qui varie simultanément de 0 à 50 milliampères.

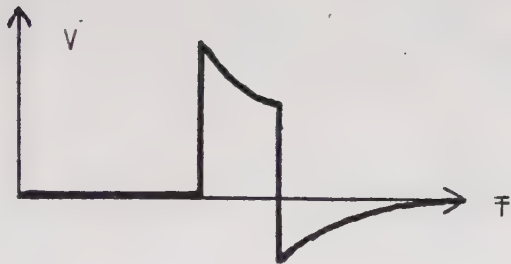
Le malade choisit lui-même les paramètres de stimulation les plus efficaces, et il apparaît que les possibilités de réglage données ci-dessus sont suffisantes (71). En particulier la fréquence optimum se situerait entre 25 et 60 Hertz pour les uns (107), entre 40 et 100 Hertz pour d'autres (2) (52).



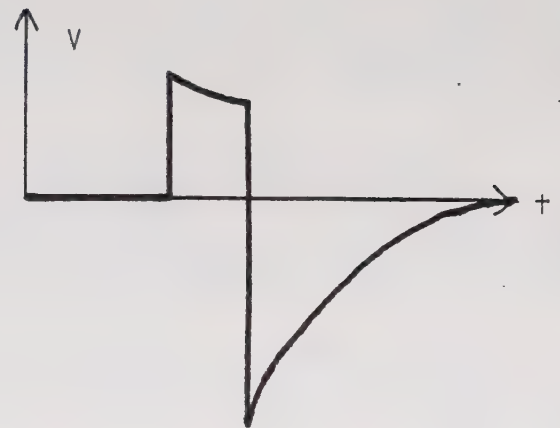
a



b



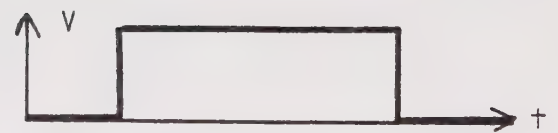
c



d



e



f

Figure 8 : Forme des Impulsions .

5 - LES ELECTRODES

Pour établir le passage transcutané du courant électrique, il faut disposer d'un matériau conducteur, souple, n'irritant pas la peau, et assez solide. La solution la plus courante est d'utiliser des électrodes de caoutchouc assez chargé en carbone pour conduire l'électricité.

Pour rendre le contact plus parfait et pour humecter la couche cornée superficielle de la peau, on interpose entre celle-ci et l'électrode une pâte conductrice, ou plus rarement des morceaux d'éponge imbibés d'eau salée.

La fixation des électrodes est assurée avec une solidité et une commodité suffisantes par des bandes de papier adhésif.

Des expérimentateurs ont proposé des électrodes formées d'une peinture appliquée sur la peau (15), ou d'un adhésif conducteur diffusant dans l'épiderme (17), ou des électrodes découpées à la demande dans des feuilles spéciales (69). Mais ces solutions ont été peu diffusées par les constructeurs.

Des électrodes trop grandes sont difficiles à mettre en place. Inversement des électrodes trop petites provoquent des sensations subjectives franchement douloureuses (69), et des échauffements locaux par densité de courant excessive; sources de brûlures cutanées (15).

Pratiquement les constructeurs ont adopté des compromis qui vont de 30 x 30 mm (9 centimètres carrés) pour les plus petites à 50 x 100 millimètres (50 centimètres carrés) pour les plus grandes électrodes.

B - METHODES

1 - LE PROTOCOLE GENERAL

Devant un syndrome douloureux, la première chose reste évidemment d'en trouver et d'en traiter la cause. En attendant l'effet d'un traitement étiologique, ou en cas d'impossibilité ou d'échec de celui-ci, un essai de stimulation transcutanée peut être tenté, au même titre qu'un traitement médicamenteux antalgique (121) : le succès de la stimulation résout le problème ; l'intolérance aux paresthésies, ou l'absence d'effet antalgique signifient l'échec de la stimulation sous toutes ses formes, à condition que les courants aient bien atteint les structures nerveuses-cibles ; un échec partiel par effet incomplet ou transitoire, ou par l'impossibilité d'obtenir des paresthésies dans l'ensemble du territoire douloureux, oriente vers une stimulation électrique par implantation précédée ou non d'un essai percutané.

Ces données sont résumées sur la figure 9 inspirée des notices de la société MEDTRONIC.

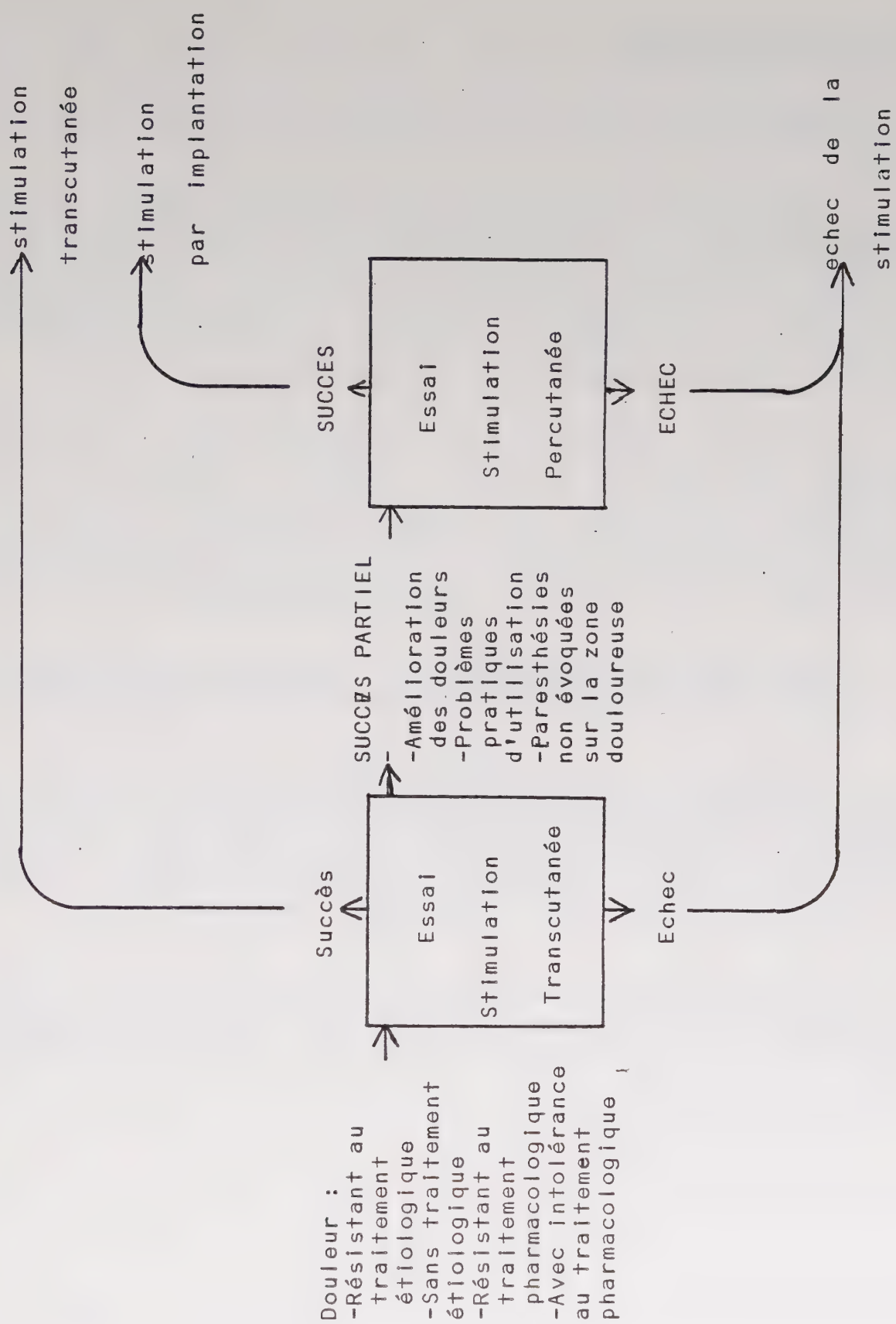


Figure 9 : Schéma des Indications de la Stimulation Electrique Antalgique

2 - LES RISQUES POSSIBLES

Les incidents provoqués par l'analgésie sont de gravité et de probabilité très diverses.

Les problèmes cutanés sont les plus fréquemment signalés. Au contact des électrodes peuvent apparaître des érythèmes (25) (72) dus à une irritation chimique, une allergie, ou à des brûlures par densité de courant excessive (15) (69), ou par mauvais contact électrique entre l'électrode et la peau. Ce type d'incident impose l'arrêt de la stimulation, un contrôle du mode d'utilisation des appareils, et le déplacement des électrodes. Il faut être particulièrement vigilant lorsque les électrodes sont placées sur des zones anesthésiées (65) (76), ou lorsque la peau est fragile ou sujette à des dermatoses.

Des risques *cardio-vasculaires* existent théoriquement, mais n'ont jamais été reportés dans la littérature. En fait, les générateurs sont prévus, avec une importante marge de sécurité, pour n'avoir aucun effet pathogène sur un coeur sain, quelles que soient les positions des électrodes. Mais la stimulation du thorax présente des risques en cas de trouble de l'excitabilité ou de la conduction myocardique. Elle est interdite si le sujet porte un stimulateur cardiaque dit "sentinelle", qui peut confondre le signal du générateur d'analgésie transcutanée avec ceux du coeur, et ignorer un arrêt cardiaque éventuel.

Les constructeurs interdisent aussi la stimulation du sinus carotidien (19), pourtant indiquée par un auteur dans le traitement des céphalées (4).

Diverses autres contre-indications sont signalées par différents constructeurs, essentiellement pour couvrir leur éventuelle responsabilité, dans diverses circonstances : grossesse, trop jeune âge, conduite de véhicules ou de machines, travail sur des installations électriques. La liste va même jusqu'à interdire la stimulation des yeux, et à prévoir le risque d'une "toxicomanie" au stimulateur d'analgésie, qui indiquerait une personnalité bien masochiste !

Au total les appareils proposés sont remarquablement sûrs. Ils répondent exactement à ce que leur demandent théoriciens et cliniciens, et les limitations de l'analgésie électrique transcutanée ne leur seront pas imputables.

V

RESULTATS DE L'HOPITAL NEUROLOGIQUE
DE LYON

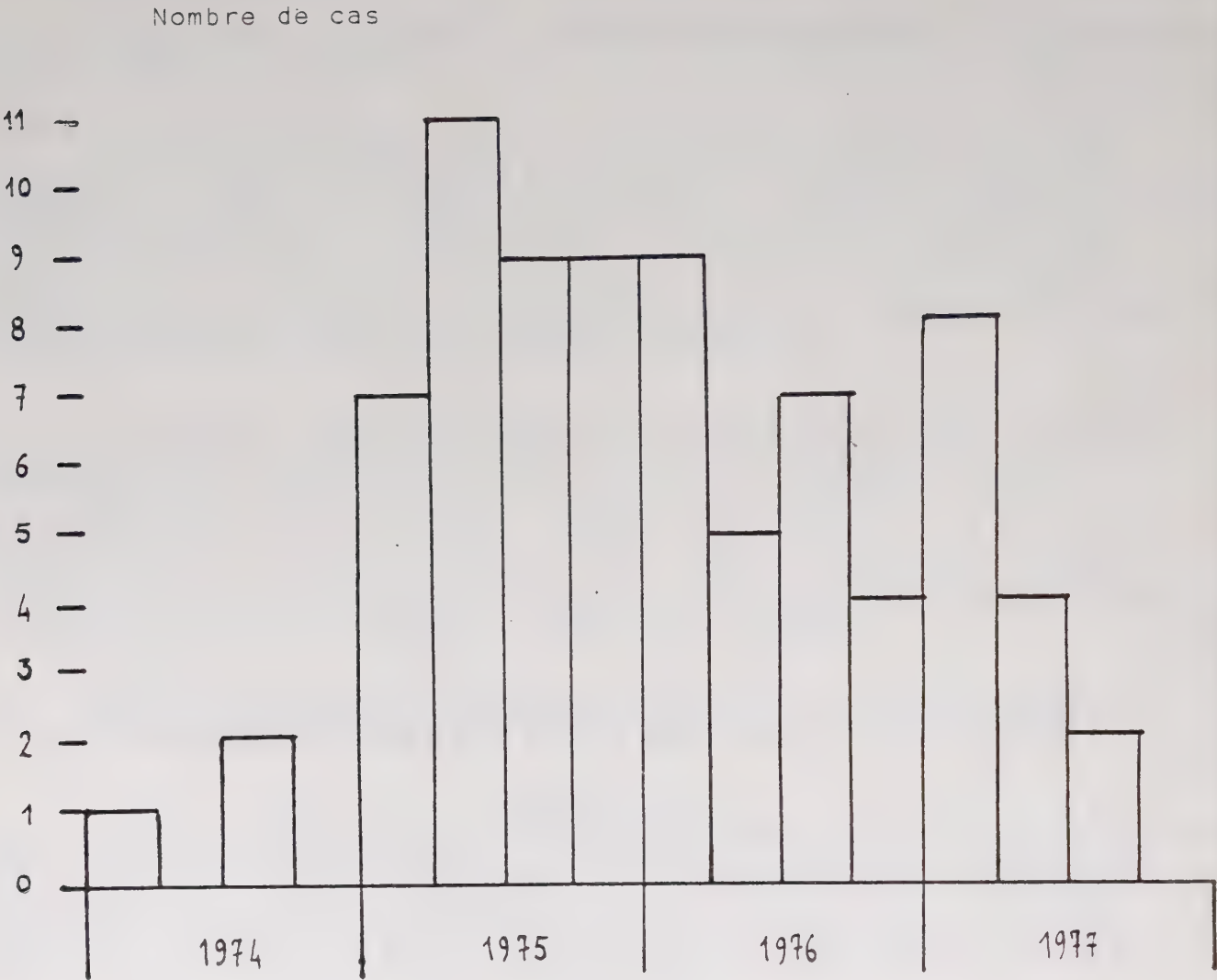


Figure 10 : Répartition des dates de début de traitement (nombre de cas soumis pendant chaque trimestre à l'analgésie électrique transcutanée).

1 - PRESENTATION DE LA SERIE

Cette série se limite à des malades présentant des douleurs chroniques, en général d'origine neurologique, et rebelles aux traitements étiologiques ainsi qu'aux médicaments antalgiques usuels.

Le nombre de nos observations s'élève à 78 cas (48 hommes et 30 femmes) regroupés en 36 mois (janvier 1974 à juillet 1977 : figure 10). Ces malades ont tous été traités et suivis par la même équipe médicale, sous la responsabilité du docteur Marc SINDOU, assistant dans le service de neurochirurgie du professeur MANSUY et du professeur agrégé FISCHER.

Cette série, dont le nombre relativement limité de cas réduit la valeur statistique des résultats, tire son intérêt principal du fait que chacun des malades a pu être régulièrement suivi par la même équipe et faire ainsi l'objet d'une étude détaillée.

2 - METHODE

Les *appareils utilisés* ont été fournis par la maison MEDTRONIC*. Les électrodes ont été placées autant que possible en regard du trajet du nerf périphérique responsable de l'innervation sensitive de la région douloureuse. La stimulation a été considérée comme adéquate lorsqu'elle évoquait des paresthésies dans la totalité de son territoire. Lorsque cela ne s'avérait pas possible les électrodes ont été mises en regard de la zone douloureuse elle-même. Enfin dans quelques cas rares les électrodes ont été placées à distance.

La procédure suivie a toujours été la suivante :

Lors de la première consultation, il est toujours vérifié que le malade a accepté les traitements étiologiques susceptibles de guérir ou d'améliorer ses

*NEUROMOD 3700 avant le milieu de l'année 1975, comportant les réglages de fréquence et d'amplitude des impulsions.
NEUROMOD 3721 ensuite, comportant en plus un réglage de la durée des impulsions.

douleurs. L'interrogatoire fait également l'inventaire des traitements antalgiques, en particulier médicamenteux, pratiqués jusque là.

Un premier essai de stimulation transcutanée est fait dans le cadre de la consultation, pour éliminer les malades intolérants aux paresthésies qu'elle provoque. Cette éventualité théorique ne s'est d'ailleurs jamais rencontrée.

Dans un deuxième temps, une hospitalisation de 3 à 8 jours est proposée au malade, pour lui expliquer en détail l'utilisation de la méthode, pour contrôler le déroulement du traitement, pour tester son efficacité antalgique immédiate. La prise de médicaments antalgiques ou antidépresseurs est autant que possible arrêtée, de façon à pouvoir mieux juger les effets de la stimulation.

En cas de succès total ou partiel le test est poursuivi à domicile une quinzaine de jours, de façon à être sûr de l'efficacité de la méthode dans les conditions de vie habituelle. Si ce test "prolongé" s'avère positif, l'appareil est acheté par l'hôpital et fourni au malade à titre de prêt illimité.

Le financement de l'hospitalisation-test et de l'achat de l'appareil est réalisé grâce au paiement par la Sécurité Sociale d'un prix de journée "stimulation neurologique" calqué sur le prix de journée "stimulation cardiaque" grâce à des accords particuliers entre les parties intéressées.

En cas d'échec la méthode transcutanée est abandonnée ; l'indication d'une stimulation par implantation d'électrodes est alors discutée, surtout si elle paraît logique sur le plan physiopathologique ou si l'échec paraît en relation avec la situation des structures nerveuses à stimuler, trop profondes pour être accessibles à la méthode transcutanée.

Puis le malade est, autant que possible, revu en consultation à des intervalles de un mois, puis trois ou quatre mois, pour juger de l'évolution.

Aux premiers malades de la série il était prescrit d'utiliser la stimulation de façon prolongée. Par la suite, le protocole conseillé a été modifié, en recommandant de n'utiliser la stimulation qu'au moment de l'apparition des crises douloureuses les plus importantes, dans le but d'éviter l'épuisement de l'effet antalgique. Cette attitude a aussi pour avantage de faire clairement apparaître la méthode comme un moyen d'apaiser ou de faire avorter les crises douloureuses, et non comme un traitement étiologique de l'affection causale.

3 - LES RESULTATS EN GENERAL

Les résultats, exprimés par le malade en pourcentage de soulagement, ont été classés en quatre rubriques.

DOULEUR	SOULAGEMENT
Supprimée	de 80 % à 100 %
Diminuée	de 20 % à 80 %
Inchangée	de 0 % à 20 %
Aggravée	

Les deux premières rubriques correspondent pratiquement à des malades jugeant utile la poursuite du traitement, donc à des succès totaux ou partiels. Ces résultats ont d'ailleurs l'imprécision des données subjectives* : c'est ainsi que, après un échec initial avec refus de la poursuite du traitement, trois malades sont revenus pour réclamer un nouvel essai, qui s'est accompagné dans deux cas d'un effet utile persistant, comme l'illustre l'exemple suivant (n° 40) :

Monsieur G. MER..., 65 ans, souffre d'une artérite du membre inférieur gauche, et subit en décembre 1975, à la suite d'une occlusion fémorale, une amputation de cuisse.

Dans les suites apparaissent des douleurs de tout le membre, intéressant le moignon et le pied fantôme, empêchant le sommeil, à type d'élançement, de brûlure ou de décharge électrique. Ces douleurs entraînent un état dépressif.

Un premier essai de stimulation en février 1976 est considéré comme un échec.

En novembre 1976 les douleurs se sont localisées au pied fantôme, et un deuxième essai de stimulation permet d'obtenir une diminution des douleurs estimée à 50 %, avec un sommeil normal.

Le soulagement persiste en avril 1977.

L'échec initial ne s'est donc pas confirmé, neuf mois après, ce que l'on peut attribuer à une modification spontanée du processus douloureux, ou à une évolution psychologique du sujet.

* Pour ce qui concerne le problème de la mesure de la douleur, voir des études spéciales (11), (20), (23), (31), (89), (91), (95), (119), (125), (127).

Les résultats globaux considérés à l'issue de la première hospitalisation, c'est-à-dire avec un recul de 3 à 8 jours, sont exprimés dans le tableau suivant :

DOULEUR	NOMBRE DE CAS		%		RESULTAT
Aggravée	7	39	9	50	ECHEC
Inchangée	32		41		
Diminuée	16	39	21	50	SUCCES
Supprimée	23		29		
TOTAL	78		100		

RESULTATS GLOBAUX IMMEDIATS

Ces résultats seront détaillés suivant la topographie de la douleur, l'âge et le sexe du malade, et surtout la cause des algies. Quelques observations considérées comme démonstratives illustreront les points les plus importants de ces résultats. Enfin l'évolution des effets de l'analgésie par stimulation à plus long terme sera étudiée.

4 - RESULTATS SELON LE SIEGE DE LA DOULEUR

Douleur	Tête Cou		Membre supérieur		Tronc		Membre inférieur		Multiples Diffuses		Résultats
	Nb.de cas		Nb. de cas		Nb. de cas		Nb. de cas		Nb. de cas		
Aggravée	1	2	1	8	4	14	1	8	0	7	ECHEC
Inchangée	1		7		10		7		7		
Améliorée	2	2	4	8	5	15	2	10	3	4	SUCCES
Supprimée	0		4		10		8		1		
TOTAL		4	16		29		18		11		

RESULTATS IMMEDIATS EN FONCTION DU SIEGE DE LA DOULEUR

L'intérêt d'une telle classification est limité par deux phénomènes. Tout d'abord il existe une corrélation très forte entre certaines localisations et certaines étiologies.

Ainsi 16 cas de douleurs post zostériennes sur 28 sont localisées au tronc et bien entendu les 13 cas de douleur d'amputation et les 6 cas de lésion du plexus brachial concernent les membres.

D'autre part le caractère parfois très étendu des symptômes empêche un classement topographique rigoureux.

Il en est ainsi des douleurs étendues à un hémicorps (3 syndromes thalamiques, un syndrome spinothalamique) ou s'irradiant des lombes aux membres inférieurs (un syndrome spinothalamique, trois cancers rachidiens, trois syndromes lombosciatiques) ou encore intéressant à la fois le thorax et le membre supérieur (un cancer du sein).

5 - RESULTATS SELON L'AGE ET LE SEXE

DOULEUR	Moins de 40 ans		40 à 49		50 à 59		60 à 69		70 ans et plus		RESULTAT
	Nb.de cas		Nb.de cas		Nb.de cas		Nb.de cas		Nb.de cas		
Aggravée	0	7	3	8	2	10	0	6	2	8	ECHEC
Inchangée	7		5		8		6		6		
Atténuée	1	5	2	8	5	8	6	10	2	8	SUCCES
Supprimée	4		6		3		4		6		
Total	12		16		18		16		16		

RESULTATS IMMEDIATS SELON L'AGE

DOULEUR	HOMMES				FEMMES				RESULTAT
	Nb.de cas		%		Nb.de cas		%		
Aggravée	5	24	10	50	2	15	7	50	ECHEC
Inchangée	19		40		13		43		
Atténuée	10	24	21	50	6	15	20	50	SUCCES
Supprimée	14		29		9		30		
TOTAL	48		100		30		100		

RESULTAT IMMEDIATS SELON LE SEXE

L'âge et le sexe ne semblent donc pas influencer l'efficacité de la méthode.

6 - RESULTATS SELON LA CAUSE DE LA DOULEUR

Le classement des causes de la douleur en catégories est difficile, en particulier du fait de l'existence fréquente d'étiologies multiples, et restera forcément en partie arbitraire. Nous avons choisi ici de présenter les résultats selon la topographie des lésions causales, en allant de la périphérie vers l'encéphale ; mais chaque fois que s'individualisait un mécanisme physiopathologique fréquent (amputation, zona) nous en avons fait une catégorie à part ; enfin les douleurs des cancéreux et quelques douleurs de causes diverses n'ont pu prendre place dans la classification topographique générale.

Au total, les causes retenues sont résumées, avec le nombre de cas correspondants, sur le tableau suivant :

Cause de la douleur	Nombre de cas
Amputation	12
Lésion périphérique de nerf	3
Lésion du plexus brachial	6
Sciatalgies, Sacralgies, Coccygodynies et lésions de la queue de cheval	7
Zona	18
Lésion de la moelle	12
Lésion de l'encéphale	3
Cancer	11
Divers	7
TOTAL	79*
NOMBRE DE CAS TRAITES SELON L'ETIOLOGIE DE LA DOULEUR	
*1 cas figure à la fois dans Zona et Cancer	

L'intérêt de ces diverses catégories est inégal. Par exemple, celles dont les effectifs sont trop faibles ne permettent pas d'accorder une valeur statistique aux résultats ; celles où les mécanismes physiopathologiques sont en réalité multiples (cancers, sciatalgies) donneront aussi des conclusions discutables.

Les douleurs des *amputés*, qu'elles siègent au moignon, au membre fantôme, ou aux deux, ont été envisagées ensemble et correspondent à douze cas.

Ce groupe ne comporte pas trois cas où le membre supérieur devenu inutile et douloureux après lésion du plexus brachial a été amputé ; ces cas seront étudiés avec les lésions du plexus, puisque les douleurs étaient apparues avant l'amputation. Par contre un cas analogue où les douleurs ont suivi l'amputation du membre inutile mais indolore auparavant se trouve dans cette série.

DOULEUR	Nombre de cas	%	Nombre de cas	%	RESULTAT
Aggravée	0	0	1	8	ECHEC ECHEC
Inchangée	1	8			
Améliorée	2	17	11	92	SUCCES
Supprimée	9	75			
TOTAL	12	100	12	100	

RESULTATS SUR LES DOULEURS DES AMPUTES

Si l'on distingue les résultats en fonction de la lésion qui a conduit à l'amputation, ou selon le siège des douleurs (moignon ou membre fantôme) les résultats sont les suivants :

DOULEUR	Origine traumatique		Autre origine	
	Nb. de cas	%	Nb. de cas	%
Inchangée	1	12	0	0
Améliorée	1	12	1	25
Supprimée	6	75	3	75
TOTAL	8	99	4	100

RESULTATS SUR LES DOULEURS DES AMPUTES SELON L'ORIGINE
DE L'AMPUTATION

DOULEUR	du moignon		du membre fantôme		du moignon et du membre fantôme	
	Nb. de cas	%	Nb. de cas	%	Nb. de cas	%
Inchangée	0	0	1	20	0	0
Améliorée	0	0	1	20	1	25
Supprimée	3	100	3	60	3	75
TOTAL	3	100	5	100	4	100

RESULTATS SUR LES DOULEURS DES AMPUTES SELON LA TOPOGRAPHIE
DE LA DOULEUR

Il semble donc que ni le mécanisme ayant conduit à l'amputation ni la topographie de la douleur n'interviennent dans les résultats.

Quelques cas particuliers méritent d'être signalés :

Un des succès est remarquable du fait que la stimulation a entraîné la disparition totale et définitive des douleurs (cas n° 23).

Enfant B. Lab..., 13 ans, est amputé de la cuisse droite le 21 août 1975, à la suite d'une plaie déchiquetée du membre inférieur par plombs de chasse. Quelques jours après l'amputation apparaissent des douleurs du membre fantôme.

L'essai de stimulation réalisé le 16 septembre 1975 obtient un succès total.

L'enfant, revu en consultation en novembre 1975, n'utilise plus la stimulation car les douleurs ont disparu, laissant seulement subsister un pied fantôme non douloureux.

Il semble d'agir là d'un cas de guérison, encore que l'on puisse se trouver en face d'une heureuse coïncidence. L'efficacité éventuelle de la stimulation serait probablement à attribuer à la précocité du traitement, qui a permis de prévenir l'inscription définitive des "patterns" douloureux dans les circuits du système nerveux central.

Le cas suivant est quelque peu similaire au précédent, par le succès d'un traitement précoce, mais s'en distingue par l'apparition tardive des douleurs après l'amputation :

Madame G. Cas ..., 42 ans, subit une amputation de la jambe gauche en mars 1961 après un traumatisme ; mais il n'y a aucun phénomène douloureux jusqu'en septembre 1976 où apparaissent des douleurs du moignon, nocturnes, à type de brûlure, par crises sans élément déclenchant. La cause de ces douleurs n'est pas expliquée.

L'essai de stimulation en octobre 1976 aboutit à une sédation totale en trois séances, après lesquelles les douleurs ne réapparaissent plus. La guérison est confirmée en novembre 1976 et avril 1977.

Comme la précédente, cette observation inciterait à mettre en oeuvre la stimulation aussi précocement que possible.

Dans un autre ordre d'idées, il paraît intéressant de signaler que trois malades attribuaient au massage du moignon un effet antalgique certain. La stimulation électrique a obtenu une sédation partielle pour l'un d'entre eux, une sédation totale pour les deux autres, par exemple dans le cas suivant (n° 44).

Monsieur C. Mal.... 70 ans, subit en janvier 1974 une amputation de cuisse gauche pour une artérite, et présente immédiatement des douleurs du membre fantôme, survenant par crises, calmées par ce qu'il appelle le "malaxage" du moignon.

La stimulation, essayée en février 1976, donne un succès de 100 % : le membre fantôme douloureux laisse place à un membre fantôme non douloureux.

En avril 1976 puis en avril 1977 Monsieur Mal... juge que la stimulation permet d'espacer les crises et de diminuer leur gravité.

Dans ces trois cas, la stimulation produit, comme le massage, d'importantes afférences sensorielles non douloureuses, mais avec une efficacité et une commodité plus grandes.

Le seul échec de la série correspond peut-être à un problème d'une véritable toxicomanie (cas n° 1) où la demande était plus orientée vers un renouvellement de la prescription de l'antalgique opiacé habituel que vers un nouveau traitement. Par contre, deux autres amputés traités aux opiacés ont pu bénéficier de la stimulation.

Les lésions périphériques des nerfs intéressent, dans notre série, deux fois le nerf cubital au coude, et une fois des nerfs intercostaux.

La structure nerveuse est particulièrement superficielle et accessible à la stimulation dans le premier cas, ce qui explique peut-être les résultats : une atténuation provisoire et une suppression durable de la douleur.

Ces deux observations, où ont été effectués des contrôles anatomiques opératoires et des traitements multiples, méritent d'être signalées :

Madame S. Ser... 48 ans, voit apparaître en mars 1971 une douleur du coude droit, en relation avec un syndrome de compression du nerf cubital dans la gouttière épitrochléo-olécrânienne ; la douleur irradie rapidement à tout le territoire du nerf, sous forme de décharges provoquées par l'hyperflexion du coude. Le traitement médical reste inefficace.

En avril 1971 une transposition antérieure du cubital fait cesser les douleurs, qui reprennent en 1973. Deux nouvelles explorations n'ont qu'une efficacité antalgique limitée.

Un essai de stimulation en novembre 1975 ne donne que 60 % d'amélioration.

Finalement la solution consiste dans une libération des fascicules constitutifs du nerf par neurolyse interfasciculaire, qui permet d'obtenir en 1977 la sédation des douleurs.

Monsieur T. Gar..., 52 ans, présente en octobre 1971 une plaie de la face interne du coude, avec section du nerf cubital, réparée immédiatement par suture épineurale.

Ce geste chirurgical est suivi d'une récupération partielle, mais il apparaît des douleurs dans le territoire cubital.

L'ablation d'un névrome et la transposition du cubital en mai 1974 permettent d'obtenir une amélioration de la motricité mais laissent persister des douleurs à type de brûlure ou de décharge électrique.

Un essai de stimulation transcutanée en septembre 1976 permet un soulagement partiel par une stimulation intermittente, mais Monsieur Gar... souhaite un soulagement plus complet et juge impossible de reprendre un travail manuel avec la gêne que représente le port de l'appareil, des électrodes et des fils.

Une neurolyse interfasciculaire et, profitant de l'abord direct, la pose d'un stimulateur implanté sur la partie proximale du cubital permettent en novembre 1976 une analgésie totale dans les suites immédiates, et le contrôle par la stimulation de quelques crises hyperpathiques signalées en janvier 1977.

Les deux précédents cas soulignent l'intérêt d'un traitement chirurgical direct destiné à améliorer l'état anatomique local, traitement qui laisse d'ailleurs sa place à une neurostimulation associée.

Dans un cas de lésion traumatique des nerfs intercostaux, la stimulation électrique transcutanée a pu supprimer la douleur. Pourtant une radicotomie postérieure totale précédente, non seulement avait été sans influence, mais en plus avait apporté ses propres perturbations, et avait gêné la pose des électrodes, qui ont dû être placées aux limites de la zone anesthésiée.

Les lésions du plexus brachial ont donné les résultats suivants :

trois échecs, deux succès partiels, un succès complet suivi huit mois après d'un échec complet.

Dans le cas suivant (n° 45) un succès partiel a interféré avec une évolution favorable du syndrome douloureux :

Monsieur M. Pel..., 50 ans, est victime en octobre 1975 d'un polytraumatisme avec en particulier fractures de l'omoplate et de l'humérus droits. Les lésions du plexus brachial entraînent une paralysie, une anesthésie et des douleurs de l'épaule et du membre supérieur droits. Ces douleurs, à type de brûlure ou de picotement, apparaissent par crises.

La sensibilité du bras récupère en décembre 1975, mais aucun progrès ne se manifeste plus ensuite, malgré une libération des nerfs dans le défilé costoclaviculaire effectuée au même moment.

Un essai de stimulation en mars 1976 donne un succès immédiat partiel (60 %) qui persiste en mai 1976.

A partir de décembre 1976 les douleurs diminuent, et ne se manifestent plus en juin 1977.

Comme dans tous les cas de guérison, on peut se demander si la stimulation a favorisé ou non l'évolution.

Dans un autre cas (n° 72) l'opposition est totale entre l'échec de l'analgésie électrique par méthode transcutanée et le succès de la neurostimulation après implantation d'électrodes sur la moelle.

Monsieur A. Olm..., 29 ans, est victime en octobre 1973 d'un accident avec lésion du plexus brachial droit. Une tentative de greffe nerveuse en novembre 1973 est suivie d'un syndrome douloureux du membre supérieur droit, qui est amputé en novembre 1974.

Depuis novembre 1973 il existe un fonds douloureux permanent auquel s'ajoutent des paroxysmes à type de brûlure, gelure ou choc, déclenchés par la fatigue ou les émotions, et suivis d'une période réfractaire.

L'essai de stimulation transcutanée effectuée en mars 1977 est un échec.

L'implantation d'un stimulateur de la moelle cervicale immédiatement après permet : le blocage en quelques secondes des crises paroxystiques, l'obtention d'une période réfractaire d'une heure et demie. Le fonds douloureux persistant reste supportable.

L'absence d'efficacité de la stimulation périphérique est probablement en relation avec l'interruption anatomique des voies afférentes au niveau des racines postérieures. Cette hypothèse est renforcée par la façon dont la stimulation médullaire directe a été efficace.

Les lombalgies, sciatalgies, sacralgies, coccygodynies et douleurs par lésion de la queue de cheval ont une communauté d'origine topographique, mais une variété assez grande de mécanisme étiologique dans les sept cas de notre série.

Les résultats sont globalement les suivants :

DOULEUR	Nombre de cas		Pourcentage		
Inchangée	4	4	57	57	ECHEC
Diminuée	1	3	14	43	SUCCES
Supprimée	2		29		
TOTAL	7		100		

RESULTATS DANS LES LESIONS RADICULAIRES DIVERSES ET DE LA QUEUE DE CHEVAL.

Selon la cause, les résultats sont les suivants :

DIAGNOSTIC	DOULEUR
Sacralgie post traumatique	Supprimée
Lombosciatique opérée	Inchangée
Lombosciatique opérée avec arachnoïdite	Supprimée
Arachnoïdite spinale	Diminuée
Angiome péri-dural	Inchangée
Ependymome de la queue de cheval, opéré	Inchangée
Plaie de la queue de cheval	Inchangée

Les arachnoïdites apparaissent donc comme une indication relativement bonne. Un exemple illustrera les possibilités de l'analgésie électrique transcutanée dans ce type de douleurs (n° 33).

Madame G. Mor ..., 34 ans, présente en 1962 une lombosciatique droite, traitée par laminectomie L₄ L₅ et ablation d'un kyste arachnoïdien.

Les douleurs sciaticques ayant récidivé en 1970 une laminectomie L₃ L₄ conduit à la découverte d'une arachnoïdite étendue,

à la fois kystique et adhésive.

En raison de la persistance des douleurs, une nouvelle myélographie amène en juillet 1975 à la découverte de kystes arachnoïdiens multiples et à une intervention pour évacuation des kystes sans ablation totale des adhérences.

Un essai de stimulation en décembre 1975 permet d'obtenir une diminution de 60 % des douleurs, et la possibilité de quitter le lit et de marcher sans cannes.

L'efficacité de la stimulation est confirmée en septembre 1976 et mai 1977.

Les électrodes ont été placées l'une dans la région lombaire, l'autre au col du péroné sur le nerf sciatique poplité externe.

Dans les douleurs post zostériennes les résultats immédiats obtenus par des électrodes placées sur le dermatome douloureux sont les suivants :

DOULEUR	Nombre de cas		Pourcentage		RESULTAT
Aggravée	2	6	11	33	ECHEC
Inchangée	4		22		
Améliorée	4	12	22	66	SUCCES
Supprimée	8		44		
TOTAL	18		99		

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES DOULEURS POST-ZOSTERIENNES

La stimulation transcutanée peut donc être totalement ou partiellement efficace dans un nombre non négligeable de cas ; ceci présente un intérêt certain dans ce type de douleurs presque constamment rebelles à toute autre thérapeutique.

Deux cas particuliers méritent d'être développés : le premier correspond à une malade précédemment traitée sans succès par radicotomie postérieure totale (n° 41).

Madame L. Mil..., 55 ans, présente des douleurs post-zostériennes intercostales gauches en D6, apparues en décembre 1969.

Une radicotomie postérieure complète effectuée en 1975 laisse persister un syndrome douloureux particulièrement important à la limite

de la zone d'anesthésie post-radicotomie.

Un essai de stimulation au voisinage de cette région, réalisé en février 1976 obtient un succès partiel immédiat de 50 %. Ensuite les résultats s'améliorent progressivement et en décembre 1976 l'effet sédatif de la stimulation peut être considéré comme total.

Ce cas illustre le fait que les antécédents de chirurgie antalgique de section ne rendent pas forcément la stimulation inefficace, pourvu qu'elle soit appliquée à des régions limitrophes de la zone anesthésiée.

Le second correspond à un malade chez qui une opération sur la racine en cause a permis de découvrir des lésions anatomiques en relation avec le zona et expliquant peut-être l'inefficacité de la stimulation.

Monsieur H. Bil..., 68 ans, présente en octobre 1975 un zona intercostal droit en D₉ D₁₁, avec des douleurs immédiates, permanentes, et une hyperesthésie cutanée douloureuses, telles qu'un traitement au PALFIUM s'avère nécessaire.

Un essai de stimulation transcutanée en avril 1977 se solde par un échec presque total ; l'indication d'une implantation d'électrodes sur la moelle au niveau du métamère correspondant aux douleurs est posée. L'abord chirurgical rachidien permet de découvrir et d'enlever un kyste arachnoïdien radiculaire en D₆ et de pratiquer une résection du ganglion siège d'une cavitation. L'intervention est complétée par la pose d'électrodes en regard de l'entrée dans la moelle de la racine D₆.

En l'absence de toute stimulation le malade signale une réduction de 50 % de ses douleurs, due sans doute à l'exérèse du kyste arachnoïdien et à la ganglionectomie. L'usage de la stimulation permet de supprimer en outre la moitié des douleurs restantes, soit au total une sédation de 75 % des douleurs initiales.

Cet exemple illustre l'intérêt d'une correction anatomique de l'état des voies afférentes associée à une stimulation par électrodes implantées.

Dans les lésions de la *moelle épinière*, nous distinguerons les causes traumatiques et non traumatiques.

DOULEUR	Lésions traumatiques	Lésions non traumatiques	Ensemble		RESULTAT
	Nombre de cas	Nombre de cas	Nombre de cas	%	
Aggravée	0	2	2	17	ECHEC
Inchangée	5	3	8	67	
Améliorée	0	1	1	8	SUCCES
Supprimée	1	0	1	8	
TOTAL	6	6	12	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES LESIONS DE LA MOELLE EPINIÈRE

Quelle que soit l'étiologie, les résultats apparaissent donc presque constamment mauvais ; le seul succès immédiat complet a d'ailleurs été suivi d'un échec au bout de deux mois. Le seul succès partiel illustre bien la difficulté du traitement (n° 67) :

Monsieur R. Vui...., 56 ans, voit s'installer progressivement depuis 1970 des douleurs de type spinothalamique (brûlures) de l'hémi-corp gauche, jusqu'à une limite supérieure dorsale haute.

Des radiographies cervicales montrent en mai 1971 une discarthrose postérieure faisant protrusion dans le canal rachidien en C₄ C₅ et la myélographie confirme le caractère compressif de la lésion. Une intervention de décompression effectuée immédiatement ne modifie pas les troubles, ni une exérèse du disque C₄C₅ en août 1972.

Un essai de stimulation transcutanée effectué en septembre 1976 fait diminuer les douleurs mais devient rapidement inefficace (les électrodes étaient placées à l'origine du sciatique et sur le sciatique poplité externe). Une stimulation par électrodes implantées sur la moelle en janvier 1977 permet par contre une amélioration durable des douleurs.

La stimulation par l'intermédiaire d'électrodes implantées, en position interdurale, à proximité de la lésion causale, est apparemment la solution logique et efficace à certaines douleurs par lésion médullaire.

Dans les trois cas de *syndrome thalamique* de cette série la stimulation électrique transcutanée, appliquée sur la région la plus douloureuse, a été un échec immédiat et complet.

Comme dans les causes précédentes de douleur il apparaît que les structures nerveuses intéressées doivent être accessibles, c'est-à-dire proches de la peau.

Les douleurs du *cancer* étudiées dans cette série correspondent à des lésions anciennes, guéries ou stabilisées, et leur mécanisme est plutôt "neurologique" qu'"irritatif". De plus les malades ont souvent subi des traitements chirurgicaux, ou radiothérapiques, ou parfois des sections des voies de la douleur, ce qui explique que la physiopathologie de ces douleurs soit des plus complexes.

Les résultats immédiats de la stimulation sont les suivants :

DOULEUR	Nombre de cas		Pourcentage		RESULTAT
Aggravée	2	7	18	64	EHEC
Inchangée	5		46		
Améliorée	2	4	18	36	SUCCES
Supprimée	2		18		

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DU CANCER

En fonction des traitements subis avant l'analgésie électrique transcutanée, les résultats sont les suivants :

	TRAITEMENT SUBI			
	Chirurgie du cancer	Radiothérapie du cancer	Neurochirurgie de la douleur	Opiacés
	Nombre de cas	Nombre de cas	Nombre de cas	Nombre de cas
Aggravée	0	1	0	1
Inchangée	3	4	2	0
Améliorée	1	2	1	1
Supprimée	2	1	2	0
TOTAL	6	8	5	2

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DU CANCER EN FONCTION DES TRAITEMENTS PRECEDEMMENT SUBIS (certains malades ont subi plusieurs traitements et figurent dans plusieurs colonnes).

Les résultats relativement mauvais obtenus sur les douleurs du cancer ne semblent donc pas aggravés par l'existence d'antécédents thérapeutiques importants.

L'exemple suivant permet d'illustrer la complexité des antécédents et la difficulté du traitement (n° 30).

Madame F. Siv..., 51 ans, constate en 1970 l'apparition d'un nodule du sein droit, qui est enlevé en septembre 1971. Le traitement par castration, antimitotiques, radiothérapie n'empêche pas l'apparition d'une métastase osseuse sur les 4e et 5e vertèbres dorsales en septembre 1972, qui est alors traitée également par radiothérapie.

En juin 1974, parallèlement à une paraplégie due apparemment à une myélopathie postradiothérapique, apparaissent d'une part les douleurs thoraciques en ceinture de niveau dorsal moyen, et d'autre part des algies de la moitié inférieure du corps. Une cordotomie spinothalamique bilatérale cervicale basse en mai 1975 diminue les douleurs en ceinture, mais est inefficace sur les douleurs des membres inférieurs.

Un essai de stimulation transcutanée en octobre 1975 s'avère inefficace. Seule l'implantation d'électrodes sur la moelle dorsale moyenne en novembre 1975 permet d'obtenir un succès partiel.

Cette observation correspond à des douleurs en relation avec une myélopathie post radiothérapique, et illustre le fait que la stimulation transcutanée ne peut prétendre être efficace que si elle atteint les structures nerveuses responsables.

Pour terminer signalons sept cas de douleurs de *causes diverses*, mais qui ont en commun l'échec de l'analgésie électrique transcutanée. Il s'agit de :

- un cas de paresthésies post traumatiques des pieds,
- un cas de brûlures dorsales hautes après intervention sur le système nerveux sympathique pour hyperhidrose,
- un cas de douleur après thoracotomie pour tumeur bénigne osseuse,
- un cas de névralgie faciale essentielle où le traitement par thermo-coagulation du trijumeau avait laissé subsister des dysesthésies,
- un cas d'algies faciales atypiques,
- un cas de douleurs physiopathiques du membre supérieur gauche,
- un cas enfin d'algies cervicobrachiales post-traumatiques du membre supérieur gauche.

7 - RESULTATS SELON LES ANTECEDENTS DE NEUROCHIRURGIE DE LA DOULEUR

Plusieurs malades de la série ayant subi des interventions neurochirurgicales antalgiques à type de section des voies nociceptives, avant d'être soumis à la neurostimulation, il nous a paru intéressant de considérer dans quelle mesure ces deux types de méthodes pouvaient interférer.

Deux malades avaient eu une radicotomie postérieure complète au niveau dorsal, sans succès ; l'un pour des douleurs post-zostériennes, l'autre pour des douleurs intercostales secondaires à des fractures de côtes. Dans le premier cas (n° 41) la radicotomie n'avait pas été un succès, soit qu'elle ait été sans action sur les douleurs zostériennes, soit que ces dernières aient été remplacées par un syndrome douloureux post-radicotomie, les données de l'interrogatoire n'ayant pas permis de trancher entre les deux hypothèses. Quoiqu'il en soit, la stimulation transcutanée faite aux limites de la zone d'anesthésie provoquée par la radicotomie a été efficace.

Le second cas, donné comme exemple ci-après, correspond également à un succès (n° 9) :

Madame M. BOS..., 45 ans, est victime en 1968 d'un important polytraumatisme avec fracture des premières côtes droites en particulier. Très vite apparaissent de violentes douleurs thoraciques. Un essai de consolidation des fractures par broches ne réussit pas à diminuer les douleurs.

Une radicotomie postérieure droite de D₁ à D₆ pratiquée en 1973 aboutit à une anesthésie douloureuse résistant même au PALFIUM à la dose de quatre comprimés par jour.

L'essai de stimulation fait en avril 1975 donne une amélioration immédiate de 80 %, les électrodes étant placées dans la région paravertébrale aux limites de la zone anesthésiée.

Lors d'une consultation en juin 1975 l'amélioration estimée n'est plus que de 50 % mais la prise de PALFIUM est arrêtée.

Cette observation montre une fois de plus qu'une stimulation faite aux limites d'une zone déafférentée au point de vue sensitif peut être efficace.

Cette série comporte également quatre malades ayant subi une radicellotomie postérieure sélective, dont deux avec un échec et deux avec une efficacité incomplète. Chez ces quatre malades il a été possible de pratiquer une neurostimulation directement sur la zone restée douloureuse, une partie des fibres sensitives ayant été laissées intactes. L'exemple suivant vient en donner une illustration.

Monsieur B. Cha... 66 ans, subit en 1940 une blessure de guerre avec amputation de la cuisse gauche. Il souffre depuis 1943 de douleurs du moignon, très aggravées depuis 1960 et résistant à tous les traitements médicamenteux, même les opiacés.

Une radicellotomie postérieure sélective en juillet 1973 est suivie d'un bon résultat antalgique. Les douleurs, quoique moins vives, conduisent cependant Monsieur Cha... à consulter à nouveau en août 1974.

La stimulation électrique transcutanée est alors essayée ; elle supprime les douleurs et permet d'enrayer les crises au début. Le succès persistait encore en avril 1977.

Dans ce cas relativement grave, avec prise d'opiacés, une chirurgie de section sélective a donc conservé la possibilité de stimulation ultérieure.

8 - RESULTATS SELON L'ANCIENNETÉ DE LA DOULEUR

Dans cette partie de l'étude nous nous limiterons aux douleurs secondaires aux amputations, aux zones et aux cancers, car le nombre de succès est trop faible pour chacune des autres étiologies. Les résultats antalgiques de la stimulation en fonction de l'ancienneté de la douleur sont figurés dans les schémas suivants (figure 12).

En ce qui concerne les douleurs après amputation, la série ne comporte

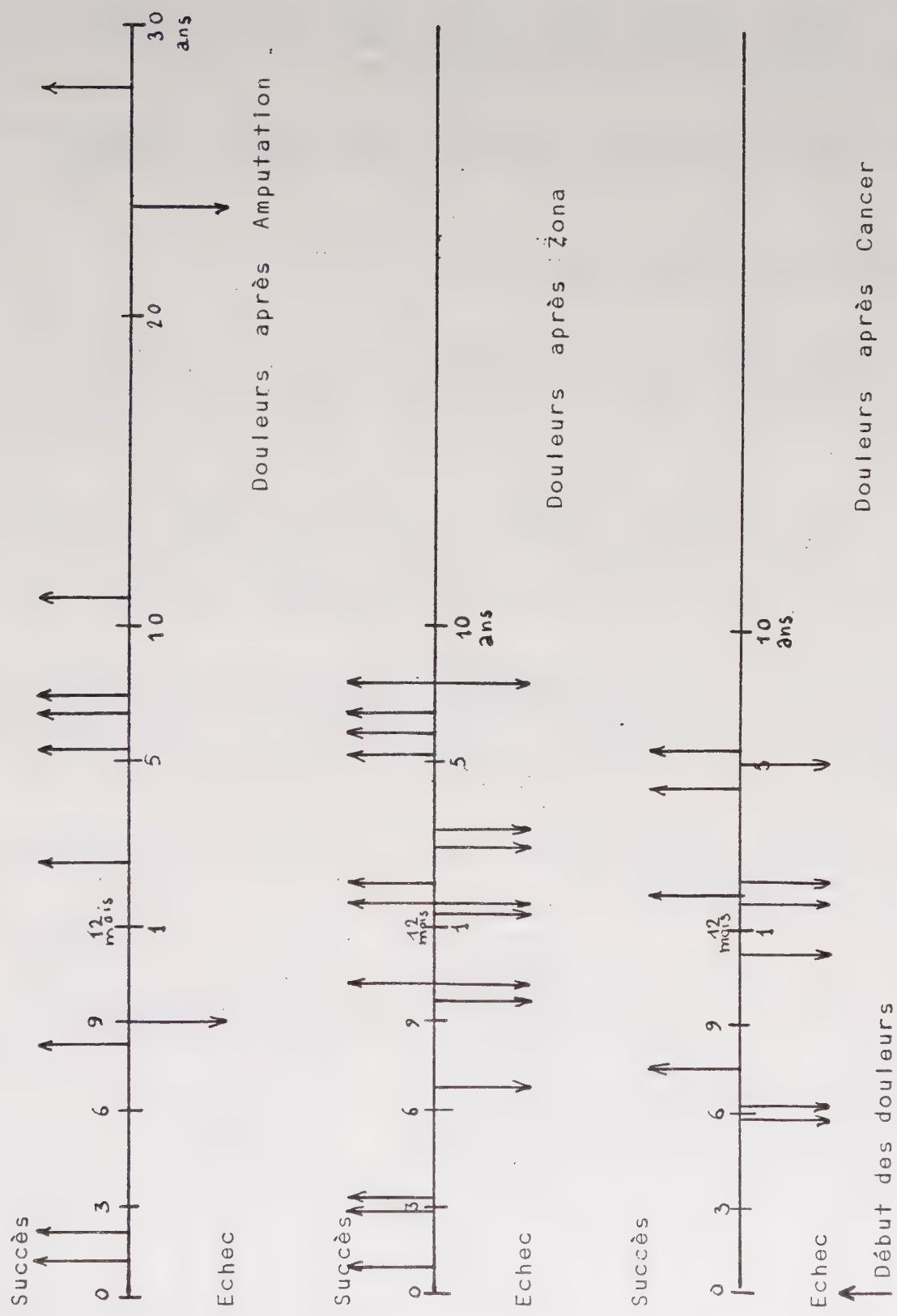


Figure 11 : Résultats de la stimulation , selon le délai entre début de la douleur et début du traitement.

Le cas de chaque malade est représenté par une flèche dirigée vers le haut en cas de succès (S), vers le bas en cas d'échec (E) immédiats. La distance sur l'axe horizontal représente le délai entre début des douleurs et traitement.

que deux échecs et il est difficile d'en tirer des conclusions.

Pour les douleurs après zona, les échecs sont plus nombreux entre six mois et cinq ans d'ancienneté de la douleur, mais la série est trop courte pour que cette remarque ait valeur de conclusion.

Pour les douleurs secondaires aux cancers il ne semble pas exister de corrélation entre le résultat antalgique et l'ancienneté de la douleur.

9 - EVOLUTION DES RESULTATS DANS LE TEMPS

L'analgésie électrique transcutanée reste-t-elle longtemps efficace après le début du traitement, ou apparaît-il un épuisement de son action ? La figure 12 résume le devenir des résultats (12-a pour les douleurs des amputés, 12-b pour les douleurs post zostériennes, 12-c pour les douleurs cancéreuses).

Entre les succès confirmés et les échecs confirmés subsistent des cas d'évolution inconnue ou de recul insuffisant, qui introduisent une incertitude. Nous avons cherché cependant à déterminer une courbe probable des résultats réels, en admettant que la proportion de succès était la même pour les cas d'évolution connue ou inconnue.

On observe immédiatement une nette différence entre les douleurs des amputés (un échec secondaire sur onze succès immédiats) par rapport aux douleurs du zona (quatre échecs secondaires confirmés en six mois sur dix succès immédiats) ou du cancer (trois échecs secondaires confirmés en quatre mois sur quatre succès immédiats).

Pendant la première année l'évolution des résultats est la suivante.

		Résultat immédiat		Après 6 mois		Après un an	
		Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%
Douleurs des amputés	Echec	1	8	1	12	1	17
	Succès	11	92	7	88	5	83
	Total	12	100	8	100	6	100
Douleurs post-zostériennes	Echec	7	39	11	85	11	92
	Succès	11	61	2	15	1	8
	Total	18	100	13	100	12	100
Douleurs des cancéreux	Echec	7	64	9	90	9	90
	Succès	4	36	1	10	1	10
	Total	11	100	10	100	10	100

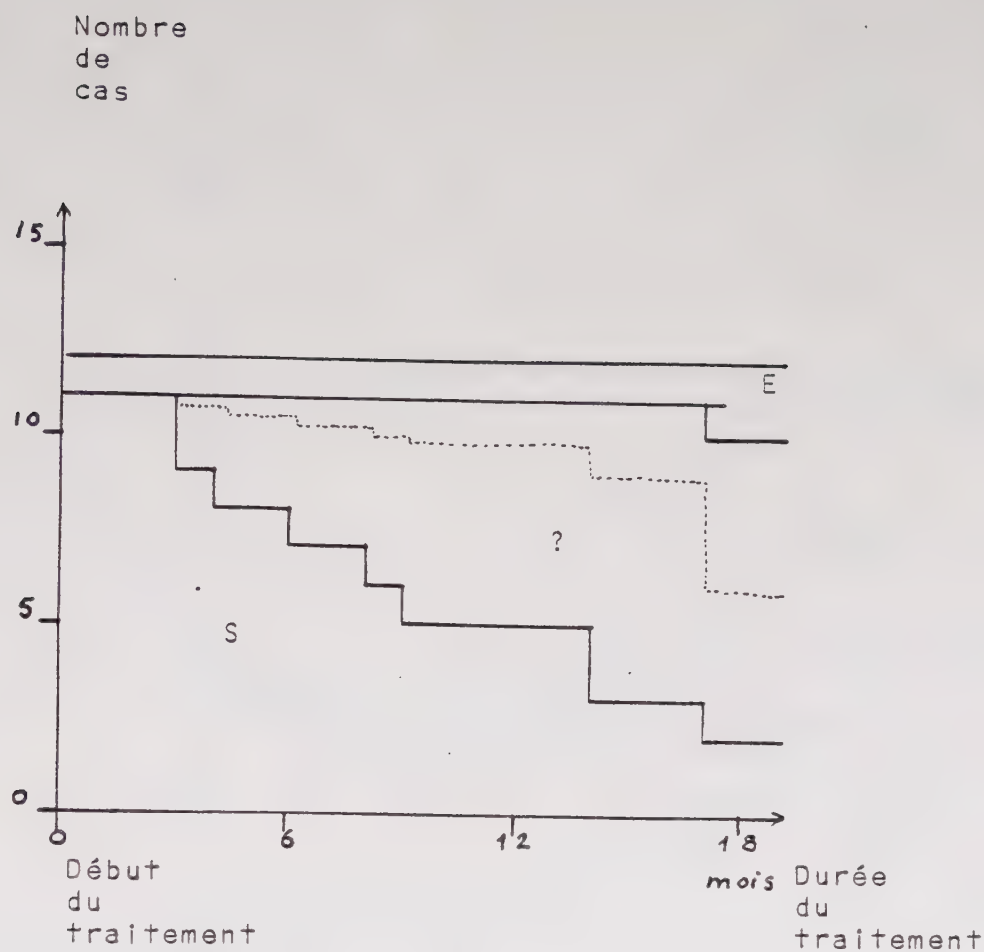


Figure 12 : Evolution des résultats de la stimulation à partir du début du traitement.

(a) Douleur des amputés.

- Horizontalement, délai à partir du début du traitement,
- Verticalement, pour chaque délai, et successivement de bas en haut. Nombre de succès confirmés (S), de recul insuffisant ou évolution méconnue (?), d'échecs confirmés (E)
- En pointillé : résultats réels probables.

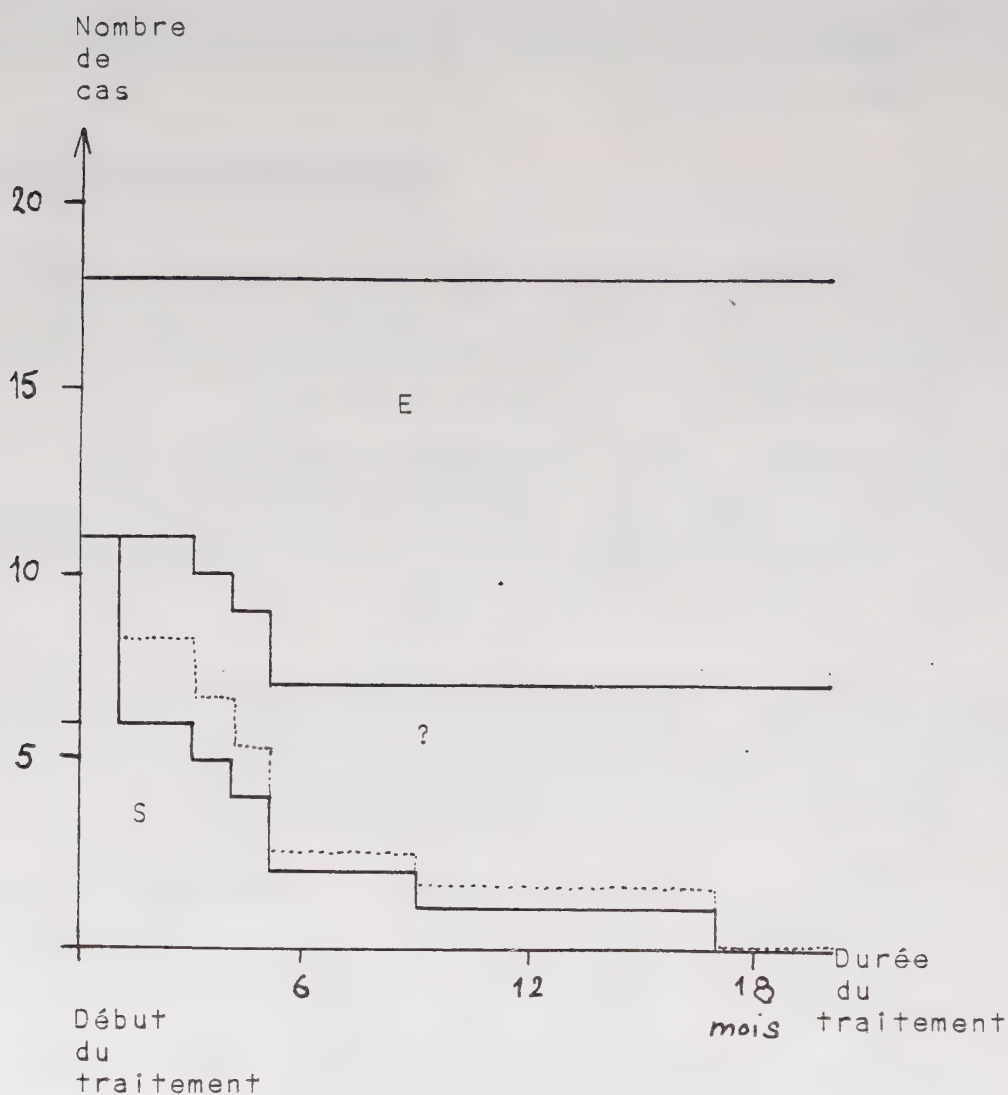


Figure 12 : Evolution des résultats de la stimulation à partir du début du traitement.

(b) Douleurs du Zona

(même représentation que pour (a))

- E : Echec Confirmé
- ? : Evolution Inconnue ou Recul Insuffisant
- S : Succès confirmé.

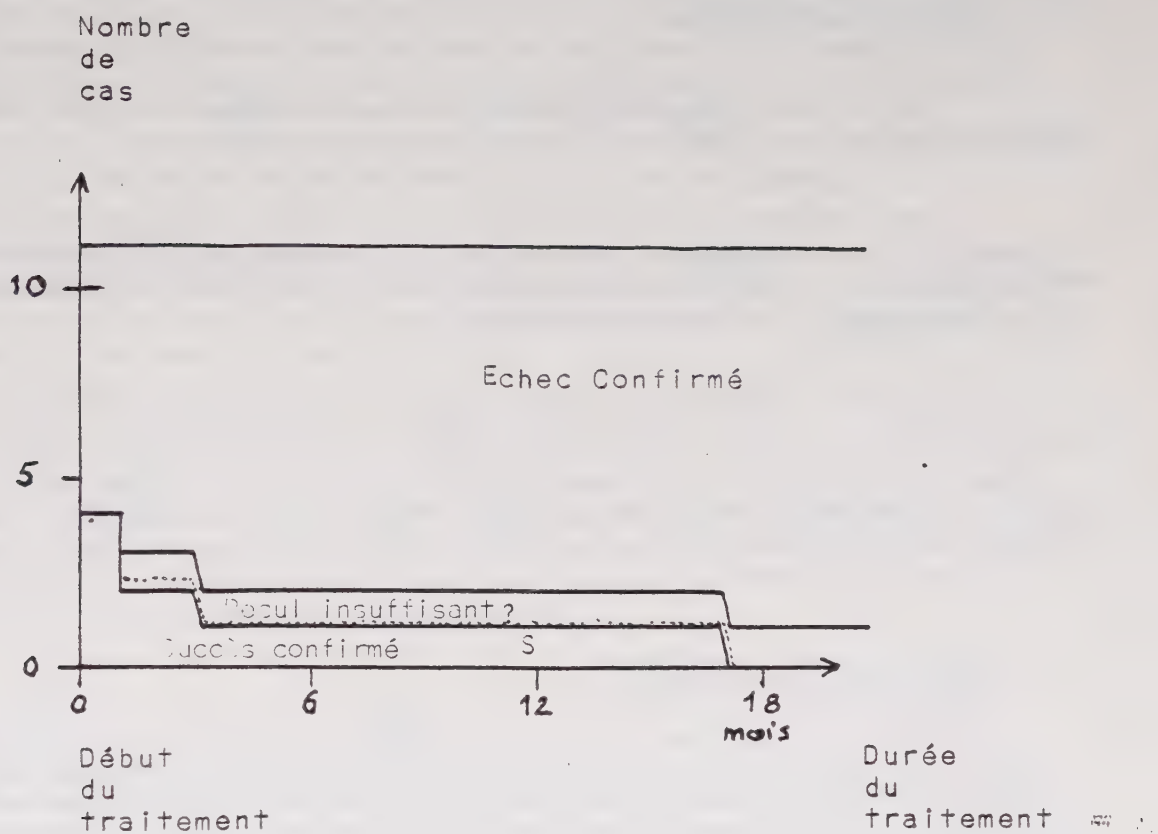


Figure 12 : Evolution des résultats de la stimulation à partir du début du traitement

(c) douleurs des Cancéreux

(même représentation que pour (a))

En bref :

- pour les amputés les résultats sont bons et durables,
- pour le zona les résultats sont moyens et transitoires,
- pour le cancer les résultats sont non seulement mauvais, mais aussi peu durables.

10 - INCIDENTS ET ACCIDENTS

Les accidents se sont réduits dans notre série à un cas d'irritation cutanée réversible à l'arrêt de l'application des électrodes.

Les incidents ou plus exactement les difficultés pratiques d'utilisation ont été plus fréquents : coupure de fils reliant le générateur aux électrodes, autres pannes, d'autant plus que le traitement ambulatoire se prolongeait. Mais ces incidents sont facilement réparables.

Plusieurs malades se sont plaints de la gêne que comporte le transport de l'appareil et le port d'électrodes pendant la vie active ou professionnelle.

En somme la technique apparaît tout-à-fait inoffensive, si elle n'est pas toujours très commode.

11 - COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

. Notre série a volontairement été limitée à des malades présentant des *douleurs très importantes, chroniques et rebelles* à tous les traitements appropriés connus, douleurs entraînant une véritable invalidité. Du fait de notre lieu d'exercice : l'Hôpital Neurologique de Lyon, ces malades avaient pour la plupart des douleurs dites "*d'origine neurologique*". Les limites fixées à cette série expliquent le relatif petit nombre de malades traités (78 en 4 ans). Ce nombre limité réduit bien entendu la valeur statistique des résultats obtenus, mais en contre partie a permis de mieux étudier chacun des malades. Pour faciliter cette étude, nous avons classé les douleurs en particulier selon le siège et le mécanisme de la lésion causale. Ce mode de classement nous ayant semble le plus propice pour comprendre les effets de la stimulation transcutanée.

. En ce qui concerne la *méthode* suivie, toutes les fois que cela s'est avéré possible, nous avons placé les électrodes en regard du trajet ou des nerfs responsables de la sensibilité du territoire douloureux, ou à défaut au niveau de la zone douloureuse elle-même. La stimulation électrique transcutanée ne nous a semblé avoir des chances de succès que si les structures nerveuses à atteindre sont superficielles et donc accessibles au courant électrique des électrodes placées sur la peau. Une stimulation discontinue limitée à quelques minutes lors de l'apparition des prodromes des crises douloureuses nous a paru préférable à la stimulation permanente. Cette dernière nous semble en effet favoriser davantage

les phénomènes d'échappement de la douleur à la stimulation.

. L'appréciation des *résultats* antalgiques a été faite par le malade lui-même, à qui il a été demandé de coter en pourcentage la sédation obtenue. Les douleurs ont été considérées comme supprimées pour un résultat supérieur à 80 %, comme améliorées entre 20 et 80 %, comme inchangées eu-dessous de 20 %.

. De toutes les variétés de syndromes douloureux que nous avons traités, il ressort de notre étude que *les meilleurs résultats* (à court terme c'est-à-dire avec un recul de quelques jours) ont été obtenus pour les douleurs des *amputés* (moignons douloureux ou membres fantômes douloureux) avec 92 % d'amélioration (dont 75 % de douleurs supprimées) puis pour les douleurs *post-zostériennes* avec 66 % d'amélioration (dont 44 % de douleurs supprimées). Signalons que trois des quatre malades présentant des sciatalgies secondaires à des *arachnoïdites spinales* ont eu un heureux effet du traitement.

Les douleurs des *cancéreux* (de sièges et de mécanismes très variables et complexes, rendant ce cadre en réalité très hétérogène) ont le plus souvent été rebelles à la stimulation (36 % d'amélioration dont 18 % de suppression de la douleur, et 10 % au bout d'un an).

. Presque chaque fois que la *structure nerveuse qui doit être logiquement stimulée* était inaccessible en raison le plus souvent de sa situation profonde, l'essai de neuro-stimulation transcutanée s'est soldée par un échec. Fait intéressant, certains de ces cas ont pu être améliorés par une neuro-stimulation faite après implantation d'électrodes soit au contact du nerf périphérique, soit au niveau du fourreau dural (électrodes interdurale).

En corrélant l'effet antalgique de la stimulation et le *mécanisme supposé des douleurs* nous avons été frappé par la fréquence des bons résultats obtenus chez les amputés, (92 % d'amélioration à court terme et 83 % après un an de recul). Or ces douleurs sont le type même des *douleurs de déafférentation*. Dans une certaine mesure les douleurs post-zostériennes ainsi que les douleurs secondaires aux arachnoïdites peuvent relever pour une part du moins de ce mécanisme d'hyperactivité de déafférentation.

Le traitement des douleurs d'origine neurologique, avec leurs mécanismes très divers, ne peut être univoque. Il est "intellectuellement" rassurant que la méthode d'électro-analgésie par stimulation transcutanée (et la neurostimulation en général) ne puisse améliorer toutes les douleurs. Mais s'il est un type de douleur que cette méthode doit améliorer, c'est bien celles de déafférentation. Les résultats de notre série vont dans ce sens et permettent de conclure que la neurostimulation doit en être le traitement de choix et le premier traitement.

Il est vraisemblable qu'il y aurait intérêt à ce que cette méthode soit mise en oeuvre le plus précocément possible de façon à éviter que des circuits de nociception ne s'autonomisent et que la douleur ne "s'engramme" au niveau des centres nerveux. Deux cas de notre série où cette méthode a été mise en action dès l'installation du syndrome douloureux ont été guéris en quelques jours sans qu'il fût nécessaire de prolonger la stimulation. Ces deux cas ne permettent bien entendu pas de faire de cette hypothèse une certitude, mais il y a là une étude intéressante à faire, et peut-être une bataille thérapeutique à gagner.

VI

ETUDE DES DONNEES DE LA
LITTERATURE

1 - Signalons d'abord simplement pour mémoire des *publications qui ne seront pas étudiées* ici en détail pour différentes raisons.

Certaines ont en effet seulement pour but de présenter l'historique, la théorie, la technique et les résultats généraux de l'analgésie électrique transcutanée aux lecteurs d'une revue : médecins généralistes :

(3), (14), (59), (73), (117), (136), (141), (153), (160).

associations locales de médecins :

(32), (33), (38), (50), (77), (79), (80), (131), (132), (134), (148), (168).

médecins de diverses spécialités :

(26), (27), (81), (157).

médecins suivant un perfectionnement audio-visuel :

(37), (74), (149),

dentistes : (62)

kinésithérapeutes : (67),

ingénieurs biomédicaux : (15), (98),

infirmières :

(36), (51), (176)....,

et malades :

(35), (90), (139).

Il en est de même pour les publications préliminaires complétées ensuite par d'autres (45), (46), (66), (78), (82), (95), (116), (118), (133), (155), (158), (166), (172), (174), (175).

Les études expérimentales ne seront pas non plus prises en compte : (93), (97), (100), (110), (135), (138), (165), (170), (174). Elles consistent à appliquer simultanément à des sujets sains une stimulation antalgique et une stimulation douloureuse, et à comparer les impressions subjectives ressenties avec ou sans analgésie. Mais les résultats sont difficilement comparables à ceux obtenus en clinique, car les douleurs pathologiques sont de mécanismes différents.

Qui plus est, les conclusions de ces travaux expérimentaux sont peu caractéristiques (138) ou divergentes selon les auteurs ou selon les modalités expérimentales (93), (97), (100), (110), (135).

Signalons enfin des articles dont nous avons eu connaissance sans pouvoir nous les procurer, et donc cités ici seulement pour mémoire (64), (129), (154), (156), (163), (169), (171).

2 - PRESENTATION DES RESULTATS

Nous avons pu rassembler les résultats de 34 séries, publiées entre 1967 et 1977, provenant de 21 équipes des Etats-Unis, trois du Canada et dix d'Europe.

L'ensemble correspond à 4376 cas et se décompose en :

- 4 séries de moins de 8 cas
- 20 séries de 12 à 95 cas
- 9 séries de 100 à 400 cas
- 1 série de 1200 cas, celle de SHEALY (115).

Pour regrouper les résultats de nombreux auteurs utilisant des cotations différentes, nous avons utilisé les principes suivants :

- La totalité des résultats est classée en échecs et succès (résultats globaux).
- Lorsque les auteurs précisent le degré de qualité de leurs résultats, ceux-ci sont répartis en douleur : Aggravée, Inchangée, Supprimée, Améliorée (résultats détaillés).

Lorsque les auteurs indiquent la qualité de leurs résultats en pourcentage d'amélioration (11) (92), nous admettons la correspondance suivante :

Amélioration de 0 à 20 % : douleur inchangée
Amélioration de 20 à 80 % : douleur améliorée
Amélioration de 80 à 100 % : douleur supprimée.

- Nous présentons en plus les résultats de SHEALY (115), déjà inclus dans les précédents, car ils représentent à eux seuls une population de l'ordre de celle de tous les autres auteurs.

- Enfin nous signalons à part les publications qui se contentent de donner une appréciation non chiffrée de leurs résultats (25), (63), (65), (110).

3 - RESULTATS D'ENSEMBLE

Pour l'ensemble des cas, les résultats *immédiats*, c'est-à-dire au terme du test initial, sont les suivants :

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb. de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée	0	0	40	1	1 634	39	ECHEC
Inchangée	540	45	1 163	37			
Améliorée	265	22	966	30	2 566	61	SUCCES
Supprimée	395	33	1 000	32			
TOTAL	1 200	100	3 169	100	4 200*	100	

RESULTATS IMMEDIATS D'ENSEMBLE

*Ne figurent pas ici 176 cas pour lesquels les auteurs n'ont pas donné de résultats chiffrés.

Dans la première colonne on trouve les quatre catégories de résultats obtenus.

Dans la deuxième et la troisième colonnes, les résultats de SHEALY (115) respectivement en nombre de cas et en pourcentage.

Dans les quatrième et cinquième colonnes les résultats détaillés des auteurs qui classent leurs résultats dans les quatre catégories précédentes, ou fournissent des pourcentages d'amélioration, y compris SHEALY.

Dans les sixième et septième colonnes les résultats globaux, regroupant ceux des quatrième et cinquième colonnes et ceux des auteurs qui classent leurs résultats en "échecs" et "succès".

Dans la huitième colonne les deux types de résultats globaux obtenus.

La même présentation sera utilisée dans toute cette partie de l'étude.

Nous donnons maintenant les résultats immédiats obtenus, en fonction de la localisation de la douleur, de la situation des électrodes, puis de la cause

de la douleur. Enfin, nous préciserons l'évolution de ces résultats avec le recul du temps.

4 - RESULTATS SELON LA LOCALISATION DE LA DOULEUR

Un grand nombre d'auteurs ne précise pas l'influence de ce facteur, dont l'intérêt est discutable. Ceux qui le mentionnent obtiennent les données suivantes :

Douleurs de la Tête et de la Face

(4), (5), (49), (60), (106), (107), (115), (150).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée	0	0	0	0	177	49	ECHECS
Inchangée	110	55	132	50			
Améliorée	45	22,5	71	27	182	51	SUCCES
Supprimée	45	22,5	61	23			
TOTAL	200	100	264	100	359	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DE LA TETE ET DE LA FACE

Douleurs de la Nuque et du Cou

(21), (92), (150), (115).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	50	50	73	30	73	30	ECHEC
Améliorée	25	25	78	32	168	70	SUCCES
Supprimée	25	25	90	38			
TOTAL	100	100	241	100	241	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DE LA NUQUE ET DU COU

Douleurs du membre supérieur
(5), (30), (49), (106), (107), (115), (143), (150).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	25	25	59	29	116	53	SUCCES
Améliorée	25	25	59	29	101	47	ECHEC
Supprimée	50	50	84	42			
TOTAL	100	100	202	100	217	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DU MEMBRE SUPERIEUR

Douleurs du thorax et de l'abdomen.

Trois séries seulement font état de résultats obtenus pour 23 cas de douleurs chroniques (5), (21) (106) et quatre pour 61 cas de douleurs aiguës post-opératoires (19), (76), (107), (140) (pour ces derniers voir aussi paragraphe VI.7).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	23	27	23	27	ECHEC
Améliorée	35	42	61	73	SUCCES
Supprimée	26	31			
TOTAL	84	100	84	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DU THORAX ET DE
L'ABDOMEN

Dorsalgies, lombalgies et lombosciatiques
(5), (21), (34), (41), (49), (83), (92), (107), (115), (150).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	85	42,5	174	26	336	33	ECHEC
Améliorée	80	40	259	38	667	66	SUCCES
Supprimée	35	17,5	249	36			
TOTAL	200	100	682	100	1003	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DORSALGIES, LOMBALGIES et
LOMBOSCIATIQUES

Douleurs des membres inférieurs
(5), (30), (106), (143), (150)

	RESULTATS DETAILLES		RESULTATS GLOBAUX		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	12	60	12	60	ECHEC
Améliorée	3	15	8	40	SUCCES
Supprimée	5	25			
TOTAL	20	100	20	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS DES MEMBRES INFERIEURS

5 - RESULTATS SELON LA LOCALISATION DES ELECTRODES

Trois localisations sont possibles pour les électrodes : en regard de la zone douloureuse, sur les troncs nerveux correspondants, ou à distance.

Les électrodes sont *placées sur la zone douloureuse* soit systématiquement (101), (150), soit occasionnellement (5), (25), (65), (68), (76), (92), (115). Seules trois publications donnent les résultats de séries traitées uniquement par cette technique.(25) (101) (150).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée	2	0	88	16	ECHEC
Inchangée	86	16			
Diminuée	237	44	455	84	SUCCES
Supprimée	218	40			
TOTAL	543	100	543	100	

RESULTATS IMMEDIATS OBTENUS AVEC DES ELECTRODES SUR LA
ZONE DOULOUREUSE

Un auteur considère que l'excitation des zones douloureuses aggrave toujours la douleur (30). D'autres précisent que la stimulation ne doit pas porter sur une zone anesthésiée(65), (76).

Les électrodes sont *placées sur le tronc nerveux* correspondant à la zone douloureuse soit systématiquement (6), (30), (124), soit occasionnellement (5), (25), (41), (68), (76), (92), (115).

Seules quatre publications donnent les résultats particuliers à cette technique (6), (25), (30), (124).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée	1	1	10	11	ECHEC
Inchangée	9	10			
Diminuée	49	54	85	89	SUCCES
Supprimée	31	35			
TOTAL	90	100	90	100	

RESULTATS IMMEDIATS OBTENUS AVEC LES ELECTRODES PLACEES SUR
LE TRONC NERVEUX CORRESPONDANT A LA ZONE DOULOUREUSE.

Les électrodes peuvent être *placées à distance de la zone douloureuse*, sur des troncs nerveux sans relation avec la région douloureuse (25), (107), sur la nuque : point de passage des influx de la nociception en provenance du tronc et des membres (29), sur des points d'acupuncture (34), (41), (92), sur des régions controlatérales ou voisines de la zone douloureuse (65), (76). Mais, si ces auteurs légitiment la stimulation à distance, d'autres ne lui reconnaissent qu'un effet placebo (30).

Seules trois publications donnent des résultats quantifiés de cette technique (25), (29), (34).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée	0	0	35	42	ECHEC
Inchangée	2	6			
Diminuée	24	69	48	58	SUCCES
Supprimée	9	25			
TOTAL	35	100	83	100	

RESULTATS OBTENUS AVEC LES ELECTRODES A DISTANCE DE LA ZONE
DOULOUREUSE

Des études prospectives destinées spécialement à comparer l'efficacité des différentes localisations présentent un intérêt particulier.

Avec les mêmes sujets et les mêmes expérimentateurs EBERSOLD et al (25) ont essayé successivement les trois méthodes sur 233 malades répondant favorablement à la stimulation :

144 (62 %) ont préféré la stimulation sur la zone douloureuse

64 (28 %) ont préféré la stimulation sur le tronc nerveux correspondant

23 (10 %) ont préféré la stimulation à distance.

Les résultats de PICAZA et al (107) sont de moindre valeur, car les sujets ne sont pas les mêmes à subir les deux méthodes. Ces auteurs ont obtenu 42 améliorations sur 280 cas de stimulation à distance (15 %) alors que l'ensemble de leurs résultats est de 210 améliorations sur 400 cas (52 %).

6 - RESULTATS SELON LA CAUSE DE LA DOULEUR : PREMIERE PARTIE : DOULEURS CHRONIQUES DITES NEUROLOGIQUES.

Il s'agit dans cette partie des résultats obtenus à court terme (quelques heures ou quelques jours), sur des douleurs résultant de lésions du système nerveux.

Les douleurs du *membre fantôme** chez les amputés donnent les résultats suivants (5), (29), (49), (76), (83), (92), (107), (150), (115).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	40	40	48	39	49	38	ECHEC
Atténuée	35	35	42	34	79	62	SUCCES
Supprimée	25	25	33	27			
TOTAL	100	100	123	100	128	100	

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES DOULEURS DU MEMBRE FANTOME

*Voir aussi (177). (63).

Sans donner de résultats chiffrés deux auteurs considèrent les membres fantômes comme de bonnes indications (25), (65).

Les *douleurs du moignon* chez les amputés sont rarement citées dans la littérature. Deux auteurs seulement les mentionnent (83), (92). Peut-être sont-elles mal distinguées des précédentes ?

Les résultats sont les suivants :

RESULTATS GLOBAUX		
Nb. de cas	%	
4	40	ECHEC
6	60	SUCCES
10	100	TOTAL

RESULTATS SUR LES DOULEURS DU MOIGNON.

Les douleurs par *traumatisme périphérique des nerfs* regroupent diverses causes : section ou compression, avec ou sans formation d'un névrome (19), (30), (60), (76), (83), (92), (107), (147).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb. de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	27	41	41	41	ECHEC
Diminuée	12	18	58	58	SUCCES
Supprimée	27	41			
TOTAL	66	100	99	99	

RESULTATS SUR LES DOULEURS PAR TRAUMATISME PERIPHERIQUE DES NERFS

Les *névralgies, causalgies et douleurs névritiques* regroupent des cas d'étiologie connue (diabétique, etc ...) et d'autres définis plutôt par leur aspect subjectif et l'absence d'autre signe clinique (4), (5), (19), (60), (76), (83), (92), (107), (143), (150).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	52	57	71	54	ECHEC
Diminuée	11	12	60	46	SUCCES
Supprimée	28	31			
TOTAL	91	100	131	100	

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES NEURALGIES

A propos de cinq névralgies faciales, un auteur a trouvé des résultats globalement bons (110).

Lombalgies, névralgies sciatiques et névralgies cervicobrachiales.

Cette catégorie nosologique est en fait assez diverse, puisqu'elle inclut un grand nombre de sujets précédemment opérés pour leurs douleurs, mais présentant depuis une arachnoïdite ou d'autres séquelles chirurgicales. Toujours est-il qu'un grand nombre d'auteurs s'y sont intéressés. (5), (19), (20), (25), (34), (41), (49), (60), (65), (76), (83), (92), (106), (107), (115), (150)*

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	85	42,5	285	24	392	26	ECHEC
Améliorée	80	40	277	40	1 105	74	SUCCES
Supprimée	35	17,5	431	36			
TOTAL	200	100	1 193	100	1 497	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES LOMBALGIES ET NEURALGIES SCIATIQUES OU CERVICOBRACHIALES

voir aussi (158).

Les douleurs *post-zostériennes* ont été fréquemment distinguées des autres neuropathies (20), (29), (49), (60), (76), (83), (101), (106), (107), (115).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	25	25	50	31	58	32	ECHEC
Diminuée	15	15	29	18	126	68	SUCCES
Supprimée	60	60	81	51			
TOTAL	100	100	160	100	184	100	

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES DOULEURS APRES ZONA

D'autres auteurs s'opposent sur l'efficacité de la stimulation dans les séquelles douloureuses du zona. Certains la considèrent comme bonne (65), d'autres comme assez bonne (25), d'autres comme mauvaise (110), mais sans préciser sur quels chiffres ils s'appuient.

Les douleurs *par lésions de la moelle épinière*, lésions presque toujours traumatiques (5), (6), (11), (19), (21), (60), (76), (83), (106), (107), sauf dans six cas (107).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	70	63	97	59	ECHEC
Diminuée	17	15	70	41	SUCCES
Supprimée	25	22			
TOTAL	112	100	167	100	

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES DOULEURS PAR LESION DE LA MOELLE
EPINIERE

EBERSOLD et al (25) considèrent les douleurs secondaires à des lésions de la moelle comme une assez bonne indication. BOSWELL et al (11) distinguent deux groupes de malades.

	Section totale de moelle		Section partielle de moelle	
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%
Echec	17	51	17	63
Succès	16	49	10	37
TOTAL	33	100	27	100

Douleurs par lésion de l'encéphale (4), (83), (92), (106), (150).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	22	94	22	94	ECHEC
Améliorée	5	6	5	6	SUCCES
Supprimée	0	0			
TOTAL	27	100	27	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS PAR LESION DE
L'ENCEPHALE

De même, un auteur annonce des échecs systématiques dans les douleurs de cause encéphalique (7). Sans non plus préciser le nombre de cas, un autre est le seul à annoncer de bons résultats (65).

Les résultats globaux sont regroupés dans le tableau suivant.

CAUSE DE LA DOULEUR	Nombre de cas	Pourcentages	
		Echecs	Succès
Membre fantôme des amputés	128	38	62
Moignon des amputés	10	40	60
Traumatisme périphérique des nerfs	99	41	58
Névralgies, causalgies, névrites	131	54	46
Lombalgies, névralgies sciatiques ou cervico- brachiales	1 497	26	74
Post-zostérienne	184	32	68
Lésion de la moelle épinière	167	59	41
Lésion de l'encéphale	27	94	6

RESULTATS GLOBAUX IMMEDIATS SELON LA CAUSE DE LA DOULEUR

7 - RESULTATS SELON LA CAUSE DE LA DOULEUR : DEUXIEME PARTIE : CAUSES DIVERSES NON NEUROLOGIQUES

Nous regroupons dans cette partie les résultats obtenus dans le cadre des douleurs aiguës, généralement sensibles au traitement étiologique, et de causes très disparates.

Douleurs rhumatologiques
(49), (76), (83), (92), (107), (150).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	22	29	22	29	Echec
Améliorée	19	25	53	71	Succès
Supprimée	34	46			
TOTAL	75	100	75	100	

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES DOULEURS RHUMATOLOGIQUES

A propos de 27 cas, sans préciser plus la proportion de succès, une étude considère les douleurs des rhumatismes dystrophiques comme une bonne indication (110).

*Traumatismes des membres**
(19), (60), (76), (115), (150).

DOULEUR	Résultats de (115)		Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	20	20	31	24	31	24	Echec
Améliorée	20	20	30	23	100	76	Succès
Supprimée	60	60	70	53			
TOTAL	100	100	131	100	131	100	

RESULTATS IMMEDIATS SUR LES DOULEURS APRES TRAUMATISMES DES MEMBRES

*Voir aussi (171).

Douleurs abdominales post-opératoires
(19), (76), (107), (140)

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	17	25	17	25	Echec
Améliorée	32	46	52	75	Succès
Supprimée	20	29			
TOTAL	69	100	69	100	

RESULTATS IMMEDIATS DANS LES DOULEURS ABDOMINALES POST-OPERATOIRES.

Par ailleurs, la stimulation électrique transcutanée a une action sur les suites opératoires générales (reprise plus rapide du transit intestinal, diminution de la durée d'hospitalisation, etc ...) (47), (159).

*Douleurs de l'accouchement** (115)

DOULEUR	DORSALE			PERINEALE			RESULTAT
	Nb.de cas	%		Nb.de cas	%		
Inchangée	25	25	25	80	80	80	Echec
Améliorée	0	0	75	10	10	20	Succès
Supprimée	75	75		10	10		
TOTAL	100	100	100	100	100	100	

RESULTATS DANS LES DOULEURS DE L'ACCOUCHEMENT

*Voir aussi (154).

Douleurs *des cancéreux*
(5), (29), (60), (76), (106).

DOULEUR	Nombre de cas	%	
Inchangée	35	62	Echec
Diminuée ou Supprimée	19	38	Succès
TOTAL	54	100	

RESULTATS DANS LES DOULEURS DES CANCEREUX

Deux autres auteurs (65), (110) considèrent aussi les douleurs du cancer comme une mauvaise indication.

Douleurs *psychiatriques* ou psychalgies.

Il s'agit de douleurs dont on ne peut trouver d'autre cause que des problèmes psychiatriques. Peu d'auteurs leur consacrent une rubrique spéciale (4) (83).

DOULEUR	Résultats détaillés		Résultats globaux		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée	29	99	33	100	
Inchangée	4	1			
Améliorée	0	0	1	0	Succès
Supprimée	1	0			
TOTAL	34	100	34	100	

RESULTATS IMMEDIATS POUR LES DOULEURS PSYCHIATRIQUES

LAZORTHES et al (68) considèrent d'ailleurs qu'une personnalité hystérique est une cause d'échec de la stimulation.

8 - EVOLUTION A LONG TERME DES RESULTATS DE LA LITTERATURE

L'appréciation des résultats à long terme se heurte à des difficultés, car il n'a pas toujours été possible aux auteurs de suivre leurs malades à intervalles réguliers, ou même de les revoir après leur avoir fourni un stimulateur. Qui plus est, bien des séries ont encore un recul insuffisant. Les études sur l'évolution des résultats sont donc rares.

L'évolution globale des résultats a été étudiée par plusieurs auteurs (25), (29), (68), (76), (92), (101). Mais ceux-ci ne précisent pas toujours complètement les délais d'étude, qui vont de 2 à 36 mois, ni la cause des variations du nombre de malades considérés.

DOULEUR	RESULTAT IMMEDIAT		RESULTAT FINAL (après 2 à 36 mois)		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Aggravée ou Inchangée	238	34	349	71	Echec
Diminuée ou Supprimée	461	66	142	29	Succès
TOTAL	699	100	491	100	

RESULTATS IMMEDIAT ET FINAL D'ENSEMBLE

L'évolution des résultats pour un groupe de sujets suivis pendant un an a pu être étudiée par trois auteurs (7), (60), (83).

	RESULTAT IMMEDIAT		RESULTAT APRES 12 mois		
	Nb.de cas	%	Nb.de cas	%	
Inchangée	193	34	469	82	Echec
Améliorée ou Supprimée	378	66	102	18	Succès
TOTAL	571	100	571	100	

EVOLUTION DES RESULTATS POUR UN GROUPE DE SUJETS SUIVIS PENDANT UN AN

L'évolution *progressive* des résultats au cours du temps a été étudiée par un seul auteur (96) sur 95 cas.

Immédiatement	50 %	de succès
à 3 semaines	30 %	de succès
à 3 mois	15 %	de succès
à 6 mois	10 %	de succès

Il est difficile de distinguer les causes d'échec dans les données de la littérature. Nous essayerons seulement, à l'aide des données disponibles (60) (76), (82) (101) de discerner *l'évolution des résultats selon la cause de la douleur*, en indiquant en regard l'un de l'autre les résultats immédiat et final obtenus par ces auteurs : (voir tableau page suivante)

Beaucoup de ces résultats correspondent à des séries courtes et peu significatives. La plupart ne montrent pas d'influence notable de l'étiologie sur l'évolution, le nombre de succès à la fin de l'étude se situant entre 20 et 30 %.

Les seules données remarquables sont celles correspondant aux douleurs après lésions de la moelle ou de l'encéphale ou aucun des quelques succès initiaux ne se maintient après quelques mois.

9 - COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Selon la *topographie de la douleur* les données dont nous disposons permettent de dire que les résultats sont meilleurs pour la nuque et le cou (80 % de succès), le tronc (61 %), le dos et les lombes (66 %) que pour la tête et la face (51 %) ou les membres (47 % au membre supérieur). Mais cette façon d'évaluer les résultats a l'inconvénient de ne pas tenir compte des étiologies et des mécanismes de la douleur.

La *localisation des électrodes* peut être discutée sur des données comparatives : 84 % de succès pour les électrodes placées sur la zone douloureuse, 89 % pour les électrodes placées sur le tronc nerveux correspondant, 58 % pour les électrodes placées à distance. La deuxième méthode est donc préférable, même si de nombreux cas particuliers imposent parfois la première.

Selon la *cause de la douleur* des difficultés se présentent dans la définition des catégories nosologiques, toujours discutables. Par exemple, la catégorie des "lombalgies, névralgies sciatiques et cervicobrachiales" n'a pu être démembrée. Il s'y trouve pourtant, à côté de lombalgies banales, toutes

		RESULTAT INITIAL		RESULTAT FINAL	
		Nb. de cas	%	Nb. de cas	%
Membre fantôme	Echec	2	25	4	80
	Succès	6	75	1	20
	Total	8	100	5	100
Traumatisme périphérique de nerf	Echec	7	28	16	73
	Succès	18	72	6	27
	Total	25	100	22	100
Névralgies Causalgies Névrites	Echec	7	29	17	77
	Succès	17	71	5	23
	Total	24	100	22	100
Lombalgies Névralgies sciatique et cervicobrachiale	Echec	36	17	127	77
	Succès	170	83	38	23
	Total	206	100	165	100
Douleurs après zona	Echec	16	39	22	79
	Succès	25	61	6	21
	Total	41	100	28	100
Lésion médullaire	Echec	5	56	9	100
	Succès	4	44	0	0
	Total	9	100	9	100
Lésion encéphalique	Echec	1	50	1	100
	Succès	1	50	0	0
	Total	2	100	1	100
Douleurs rhumatologiques	Echec	2	14	9	75
	Succès	12	86	3	25
	Total	14	100	12	100
Douleurs post-traumatiques	Echec	5	42	10	100
	Succès	7	58	0	0
	Total	12	100	10	100
Douleurs post-opératoire	Echec	0	0	1	50
	Succès	3	100	1	50
	Total	3	100	2	100
Douleurs du cancer	Echec	7	41	13	72
	Succès	10	59	5	28
	Total	17	100	18	100

EVOLUTION DES RESULTATS SELON LA CAUSE DE LA DOULEUR

les séquelles d'interventions mêlant les cas les plus graves à des cas bénins à traiter par le repos et les antalgiques mineurs.

Toujours est-il que, dans les douleurs chroniques d'origine neurologique, les meilleures indications sont les lombalgies et névralgies sciatiques ou cervicobrachiales (74 % de succès), les douleurs des amputés (62 %), les douleurs post-zostériennes (61 %) et par lésion des nerfs périphériques (58 %). Des résultats moyens sont obtenus dans les névralgies diverses (46 %) et les douleurs par lésions de la moelle épinière (41 %). Des échecs presque certains sont à prévoir pour les lésions de l'encéphale (6 %).

Les douleurs aiguës rhumatologiques ou traumatiques sont par contre de très bonnes indications (71 à 76 % de succès), alors que les douleurs par cancer obtiennent des résultats moyens (38 %) et que les malades psychiatriques présentent des aggravations presque constantes.

L'évolution des résultats au cours de traitements de longue durée est constamment défavorable. En particulier les rares succès immédiats obtenus pour les lésions de la moelle épinière ou de l'encéphale ne persistent que peu de temps. Dans les autres cas il n'apparaît pas de différence nette de l'évolution des résultats selon la cause des douleurs chroniques neurologiques, avec 20 à 30 % de succès à long terme. Mais la plupart des auteurs n'étudiant pas ce problème, les séries sont le plus souvent trop courtes pour que les conclusions aient une valeur indiscutable.

VII

D I S C U S S I O N

Dans cette partie de notre exposé, nous comparerons d'abord les résultats obtenus à l'Hôpital Neurologique de Lyon avec ceux exposés dans la littérature ; ensuite nous déterminerons dans quelle mesure les résultats sont compatibles avec les diverses théories, puis en quoi l'anatomie et l'histologie des lésions correspond aux succès et aux échecs rencontrés. Nous terminerons cette partie en essayant de préciser les possibilités et les limites de l'analgésie électrique transcutanée, et sa place par rapport aux autres méthodes de stimulation à visée antalgique.

1 - COMPARAISON DE LA SERIE DE L'HOPITAL NEUROLOGIQUE ET DES SERIES DE LA LITTERATURE

La *localisation des électrodes*, étudiée en détail dans la littérature, justifie le choix que nous avons fait de placer les électrodes sur les troncs nerveux, ou à défaut sur la zone douloureuse.

Les résultats *selon la cause de la douleur* ne sont pas discordants entre les résultats de la littérature et les nôtres, bien que les cadres nosologiques ne soient pas tout-à-fait superposables. Le tableau suivant, où ne figurent que les causes communes aux deux séries, indique bien les bonnes et les mauvaises indications.

	Pourcentage de succès immédiats	
	Série de l'Hôpital Neurologique	Données de la littérature
Douleurs des amputés	92 %	62 %
dont : Membre fantôme	60 %	62 %
Moignon	100 %	60 %
Douleurs post zostériennes	66 %	61 %
Lésions périphériques des nerfs	100 %	58 %
Douleurs des cancéreux	40 %	38 %
Lésions de la moelle épinière	14 %	41 %
Lésions de l'encéphale	0 %	6 %

COMPARAISON DES RESULTATS DE L'HOPITAL NEUROLOGIQUE ET DES DONNEES DE LA LITTERATURE

Pour nous limiter aux données les plus caractéristiques, par l'effectif des séries et la précision des résultats, il apparaît que :

- les résultats sont les mêmes pour les douleurs post-zostériennes.
- nos résultats sont meilleurs que ceux de la littérature pour les douleurs des amputés.
- inversement, les résultats de la littérature sont meilleurs que les nôtres pour les lésions de la moelle épinière.

L'évolution à long terme des résultats apparaît mauvaise dans les résultats de la littérature ; elle fait passer en effet le pourcentage de succès de 66 % à 18 % au bout de quelques mois. Ces résultats ne font pas apparaître de différence selon l'étiologie de la douleur, mais rappelons que la plupart des auteurs ne se sont pas attachés à étudier l'évolution des résultats pour chacune des causes de douleur.

Par contre nos données permettent de préciser cette évolution et de prévoir une assez bonne persistance de l'efficacité pour les douleurs des amputés, pour lesquels la proportion de succès diminue seulement de 92 à 83 % en un an). Inversement nos résultats confirment la perte d'efficacité pour les douleurs post-zostériennes et des cancéreux.

2 - COMPATIBILITE DES THEORIES PHYSIOPATHOLOGIQUES DE LA DOULEUR ET DES RESULTATS

La théorie de la porte de MELZACK et WALL (94) (voir paragraphe III 3), a justifié le renouveau de l'analgésie par stimulation, et ce qui en reste malgré les nombreuses critiques permet d'expliquer la plupart des succès, par l'augmentation de l'activité des voies inhibitrices.

La théorie de la porte explique que la déafférentation provoque des douleurs, mises en relation avec une "*hyperactivité médullaire de déafférentation*" comme l'ont montré LOESER et WARD (75) (voir paragraphe III-5). La stimulation, qui recrée des afférences, doit pouvoir logiquement diminuer cette hyperactivité, ce qui semble se vérifier dans les syndromes de déafférentation (par exemple par sections nerveuses totales). Mais cette théorie ne permet pas d'expliquer l'efficacité de la stimulation dans des cas incontestables de douleurs par excès d'afférences nociceptives, douleurs aiguës traumatiques ou rhumatologiques par exemple.

L'efficacité de la stimulation peut être aussi attribuée à la mise en oeuvre d'*inhibitions descendantes* en provenance de l'encéphale, mais déclenchées par la stimulation périphérique transcutanée. La théorie de la porte prévoyait déjà, sous le nom de "contrôle central", des inhibitions descendantes rapides cortico-spinales véhiculées par le faisceau pyramidal. Depuis, KAADA (52) distingue deux mécanismes d'action de la stimulation, l'un médullaire conforme à la théorie de la porte, l'autre faisant intervenir des inhibitions descendantes lentes ; l'utilisation d'une stimulation forte, à la fréquence de 50 à 100 Hertz, provoque une analgésie immédiate brève et localisée, attribuée au mécanisme médullaire de porte, renforcée par le "contrôle central" ; l'utilisation (préconisée en électro-acupuncture) d'une stimulation plus faible, à la fréquence plus basse de 1 à 3 Hertz,

provoque une analgésie apparaissant en 20 à 30 minutes, se prolongeant plusieurs heures, et diffusant aux régions voisines du corps, attribuée à un autre mécanisme d'inhibition descendante. Le caractère lent et diffus du deuxième processus évoque la sécrétion puis la résorption d'une substance antalgique, peut-être une endorphine (61) (voir paragraphe III 4), agissant par la voie du faisceau bulbospinal sérotoninergique.

Le contrôle encéphalique de la douleur ne suffit pourtant pas à expliquer les succès de l'analgésie électrique transcutanée, car un mécanisme central ne peut pas rendre compte de la différence d'efficacité entre les stimulations de la région douloureuse et celles pratiquées à distance.

L'efficacité de l'analgésie électrique transcutanée peut aussi être attribuée à d'autres explications : en particulier l'idée d'un *blocage périphérique* des afférences en particulier nociceptives, a été soutenue par CAMPBELL et TAUB (18) (48) (135) (164), mais reste discutée (144). Des études électrophysiologiques de la transmission nerveuse en présence d'une stimulation électrique transcutanée montrent en effet un blocage des influx, principalement sur les fibres A delta, mais aussi sur les fibres A alpha, A bêta, et C. Le mécanisme de ce blocage reste inconnu, et on ne sait pas ce qu'il peut devenir en cas de lésion neurologique. Mais il ouvre la perspective d'une "anesthésie locale", intéressant tous les modes de la sensibilité, durable et immédiatement réversible. A ce titre, une telle interprétation des effets de la stimulation mérite d'être prise en considération.

Enfin l'effet de l'analgésie électrique transcutanée a pu être attribuée à des *effets psychologiques* :

- l'effet placebo ou de suggestion : le malade ... et le médecin se persuadent que la méthode va être efficace et obtiennent ainsi un résultat.

- l'effet de distraction : le malade occupé à analyser les impressions subjectives provoquées par la stimulation, se désintéresse de sa douleur et ne la ressent plus.

L'effet placebo existe dans les méthodes de stimulation ; la confiance du malade en le médecin, les explications au début du traitement ont leur importance ; le caractère mystérieux et moderne des techniques et des appareils, l'aspect inhabituel des sensations évoquées ; tout rend la suggestion plus forte que dans un traitement médicamenteux. Il est donc bien difficile de séparer l'effet placebo des effets somatiques : cependant l'efficacité des traitements antalgiques purement placebo ne dépasse pas 33 % de succès (76), alors que les résultats de la stimulation sont souvent meilleurs, et diffèrent de plus selon les indications et les méthodes.

L'effet de distraction ne suffit pas non plus à expliquer l'analgésie électrique transcutanée, car la distraction serait plus efficace pour une stimulation à distance, et cesserait immédiatement à l'arrêt de la stimulation, ce qui n'est pas observé en fait.

En somme les effets psychologiques ne peuvent expliquer qu'une partie des résultats, tout en imposant une grande prudence au moment de tirer des conclusions. Les autres théories ne diffèrent que par la localisation présumée du blocage de la douleur, mais toutes l'attribuent à des afférences inhibitrices. Nous essayerons maintenant de déterminer en quoi cette notion permet de prévoir les facteurs de succès et d'échec de l'analgésie électrique transcutanée.

3 - LES FACTEURS DE SUCCES ET D'ECHEC

Dans le problème de la transmission des afférences inhibitrices, depuis le stimulateur jusqu'aux structures nerveuses intéressées, interviennent la topographie des électrodes et celle des lésions responsables de la douleur, mais aussi la nature de ces lésions.

Les résultats font apparaître que *l'emplacement des électrodes* doit être tel que la stimulation intéresse les troncs nerveux dont le territoire correspond à la douleur. Les deux méthodes effectivement les plus efficaces sont l'excitation sur le tronc nerveux, ou sur la zone douloureuse.

La première méthode a l'avantage de s'appliquer même aux membres fantômes. Elle exige par contre la connaissance du trajet des nerfs, et des points où ils sont superficiels. (Cependant l'emplacement des électrodes peut être contrôlé par des techniques instrumentales (55), ou plus globalement en vérifiant que la stimulation provoque des paresthésies projetées dans le territoire douloureux à distance de l'électrode (121)).

La stimulation d'un tronc nerveux ou de l'ensemble de son territoire est plus difficile sur les nerfs crâniens, ce qui peut expliquer les mauvais résultats obtenus pour cette localisation de la douleur.

La topographie des lésions neurologiques par rapport au siège de la stimulation nous semble jouer un rôle important dans l'efficacité de la méthode. L'expérience fait apparaître en effet que la stimulation doit être transmise jusqu'aux centres. En particulier les résultats sont mauvais si la zone excitée est anesthésiée (65) (76). D'une manière plus générale, l'analgésie de stimulation fonctionne bien s'il n'existe pas de lésion neurologique (cas des douleurs aiguës par excès d'afférences) ou si ces lésions sont situées en position distale par rapport à l'excitation (douleurs des amputés ou par traumatisme périphérique des nerfs). L'efficacité est moindre, du fait d'une transmission moins efficace, dans le cas de lésions intéressant aussi les racines, ou à plus forte raison de lésions médullaires ou encéphaliques.

La notion de transmission de la stimulation permet ainsi d'expliquer logiquement, avec le minimum d'hypothèses théoriques, les bonnes et les mauvaises indications de l'analgésie électrique transcutanée.

Les diverses *lésions histologiques* qui sont à l'origine des phénomènes douloureux jouent aussi un rôle dans l'efficacité de la stimulation. Selon la théorie de la porte l'analgésie serait liée à une activation des grosses fibres myélinisées à fonction inhibitrice, et son efficacité en relation avec l'intégrité

de ces fibres. Cette condition est réalisée quand les douleurs sont dues à une excitation des récepteurs normaux de la nociception, ou à une lésion localisée à la périphérie du nerf. La présence d'un névrome, avec prolifération et excitation spontanée des fibres fines (22) (40), ne modifie pas non plus les possibilités de déclencher le fonctionnement des fibres inhibitrices en amont du névrome.

Le problème est plus complexe pour les lésions diffuses étendues à l'ensemble du nerf. Quelles sont alors les atteintes histologiques (24) (137) ?

Dans le zona, l'inflammation atteint indifféremment les grosses et les petites fibres (24, page 1095), et évolue en plusieurs mois, avec atteinte fréquente de la corne postérieure de la moelle. L'équilibre relatif des lésions entre grosses et petites fibres permet d'expliquer l'efficacité de la stimulation. Des échecs tardifs peuvent correspondre à une persistance de l'évolution des lésions, avec dépopulation plus marquée en grosses fibres myélinisées.

Dans les cancers s'associent plusieurs mécanismes :

- Excès d'influx nociceptifs dus à l'irritation mécanique de la tumeur, à l'irritation chimique par substances algogènes d'origine tumorale, inflammatoire ou infectieuse, mais aussi :

- Défauts de fonctionnement des structures nerveuses par compression au contact de la tumeur, par neuropathies ou myélopathies post-radiothérapiques (24, page 745), par phénomènes ischémiques, par atteintes paranéoplasiques de la moelle, des racines ou des nerfs périphériques, avec perte de fibres de tous types (24, page 1301). La variété des lésions laisse peu de chances à la stimulation d'être efficace, comme on le vérifie effectivement.

La *dégradation des résultats* dans les mois qui suivent le début du traitement ne s'explique pas par les théories d'inhibition périphérique ou médullaire.

Le délai de quelques mois évoque un mécanisme de physiopathologie de la sécrétion d'un neuromédiateur. Epuisement de la synthèse ? Diminution de la sensibilité d'un chémo-récepteur par une stimulation excessive et durable ? Involution d'un mécanisme physiologique remplacé par la stimulation électrique ? Biofeedback négatif stoppant une sécrétion ? Analogie avec la tolérance à la morphine ?

L'échappement à l'action de la stimulation peut aussi être reliée à une évolution histologique : création de nouveaux circuits algogènes sous l'influence de la stimulation (75) (84), ou, bien sûr, tout simplement, évolution spontanée des lésions ayant entraîné le phénomène douloureux.

En somme, résultats et raisonnements concordent pour justifier le placement des électrodes sur les troncs nerveux, et pour expliquer les succès de la stimulation dans les lésions bien localisées et périphériques, telles que les douleurs des amputés. Par contre, dans le cas des douleurs post-zostériennes, et surtout cancéreuses, les lésions sont trop variables dans le temps ou d'un individu à l'autre, et aussi trop multiples pour qu'une interprétation unique

puisse s'appliquer.

4 - POSSIBILITES ET LIMITES DE L'ANALGESIE ELECTRIQUE TRANSCUTANEE

Au point de vue *technique* les appareils de stimulation transcutanée sont d'un usage facile, même pour un traitement ambulatoire. Leur emploi n'impose pas la présence constante d'un médecin ou d'un auxiliaire médical. La méthode est remarquablement inoffensive, les quelques contre-indications cardiaques sont rares et faciles à respecter, les incidents ne posent que des problèmes de surveillance simples. Dans un traitement de longue durée apparaissent pourtant quelques problèmes techniques (pannes, coupures de fils, gêne au port d'électrodes) qui nous semblent représenter la majorité des incidents.

A la lumière des résultats, les *indications* de l'analgésie électrique transcutanée nous semblent pouvoir être précisées de la manière suivante :

A la phase de début des douleurs chroniques, l'analgésie de stimulation mériterait d'être essayée concurremment à l'analgésie médicamenteuse : elle est en effet commode, dépourvue d'effets secondaires ; surtout, elle pourrait avoir alors un effet curatif, en évitant que les circuits de la nociception ne s'autonomisent et que la douleur ne s'engramme dans les centres nerveux. Cette possibilité reste cependant encore à confirmer par de nouvelles études.

Dans les douleurs chroniques, la décision d'un essai de stimulation transcutanée peut être orientée par le diagnostic étiologique. De bons résultats immédiats peuvent être espérés sur les douleurs des traumatiques périphériques des nerfs. Les douleurs des amputés, du moignon ou du membre fantôme, paraissent relativement accessibles à l'électroanalgésie par stimulation transcutanée ; quand on sait leur caractère rebelle aux traitements médicaux ou chirurgicaux, (86 bis), l'intérêt de la neurostimulation dans cette indication mérite d'être fortement souligné.

Des résultats intéressants, quoique moins bons et moins durables, sont à prévoir dans les douleurs post-zostériennes, lombalgies, sciatalgies et névralgies cervicobrachiales.

A notre avis, la méthode mérite à peine d'être essayée dans les douleurs du cancer, et surtout dans les douleurs par lésion de la moelle épinière, inaccessible à la stimulation transcutanée. Les douleurs de cause encéphalique ne sont pas non plus une indication.

L'existence d'une névrose (préexistante ou en réaction à la douleur) et la prise chronique d'opiacés ne sont pas selon nous une cause d'échec de l'analgésie électrique transcutanée. Les contre-indications psychiatriques relevées dans la littérature (hystérie, psychose grave) méritent pourtant d'être prises en compte dans la discussion.

L'influence de l'analgésie électrique transcutanée sur les douleurs aiguës a été relativement peu étudiée, mais les quelques données existantes

indiquent qu'il s'agirait d'une bonne indication.

5 - PLACE DE LA METHODE TRANSCUTANEE DANS L'ANALGESIE DE STIMULATION

Il semble maintenant admis par tous que l'analgésie électrique transcutanée, du fait de sa simplicité et de son innocuité, doit être essayée avant toute indication d'implantation. Si les résultats sont suffisamment efficaces et satisfaisants, la méthode se suffit à elle-même.

Il est admis aussi que l'implantation d'électrodes est indiquée quand la stimulation transcutanée n'a qu'une efficacité incomplète, ou pose des problèmes pratiques d'utilisation.

A notre avis, devant un échec de l'analgésie électrique transcutanée, il convient en plus d'en discuter la raison : soit le mécanisme de la douleur est insensible à la stimulation, soit la stimulation n'est pas transmise jusqu'à son lieu d'action (c'est-à-dire probablement la corne postérieure de la moelle).

Si l'échec est dû uniquement au premier mécanisme, le sujet ressentira des paresthésies dans le territoire douloureux, mais sans effet antalgique. Il est alors à prévoir que toutes les stimulations échoueront, en particulier celles par électrodes implantées sur la moelle.

Si l'échec est dû à une absence de transmission, ceci peut être présumé sur la nature et la topographie des lésions, ou sur la difficulté de stimuler des structures nerveuses trop profondes. L'implantation d'électrodes permet alors d'atteindre, au delà de la lésion, sans limitation par des obstacles anatomiques, une structure nerveuse encore fonctionnelle. C'est le seul cas où, malgré l'échec total de l'analgésie électrique transcutanée, l'implantation d'électrodes nous semble devoir être tentée.

VIII

C O N C L U S I O N

Il n'existe pas actuellement de théorie complète et indiscutable de la douleur, de son apparition, des mécanismes susceptibles de l'augmenter ou de la diminuer. Il n'existe donc pas de traitement absolument spécifique et rationnel.

Parmi toutes les méthodes existantes, à côté des autres techniques de stimulation, l'analgésie électrique transcutanée mérite de trouver sa place, en particulier à cause de sa simplicité et de sa remarquable absence d'effets secondaires.

L'efficacité de la méthode actuellement bien irrégulière, pourrait peut-être se trouver améliorée par des perfectionnements techniques, mais cette voie est limitée. Par contre des progrès doivent être obtenus; en tenant compte des résultats précédents, par un choix rationnel des indications. On peut les résumer dans les principes suivants, points de repère volontairement simplifiés jusqu'à la caricature pour être clairs et frappants.

L'analgésie électrique transcutanée, par sa simplicité et son inoquité, est indiscutablement la première étape de la stimulation.

L'analgésie électrique transcutanée ne peut être logiquement efficace que si la structure nerveuse à stimuler est accessible, c'est-à-dire proche de la peau.

L'action de l'analgésie électrique transcutanée doit être transmise de la peau aux centres nerveux ; par conséquent toute déficience totale ou partielle de la transmission sensorielle ne peut qu'empêcher ou diminuer son efficacité.

La perception de paresthésies dans l'ensemble du territoire douloureux est pour nous le critère d'une application correcte des électrodes, donc le test de validité de l'analgésie électrique transcutanée. Si les paresthésies sont perçues, l'échec de la méthode transcutanée équivaut à l'échec de la stimulation sur les nerfs périphériques et sur la moelle épinière.

L'analgésie électrique transcutanée agit vraisemblablement par des afférences sensorielles artificielles : elle semble donc le traitement substitutif logique des douleurs de déafférentation, en particulier chez les amputés.

Dans cette perspective, l'Analgésie Electrique Transcutanée, méthode antique mais restée marginale jusqu'en 1965, n'inaugure-t-elle pas une nouvelle conception de la thérapeutique des déficits neurologiques : la neurostimulation de substitution.

L'analgésie électrique transcutanée, grâce à ses récents perfectionnements, est devenue une technique commode, dépourvue d'inconvénients, et pratiquement sans contre-indications.

En matière de douleurs chroniques, cette méthode obtient les résultats les meilleurs et les plus durables quand la lésion causale est bien localisée à distance du névraxe, et quand le mécanisme physiopathologique correspond à des douleurs de désafférentation (par exemple après amputation ou traumatisme périphérique d'un nerf).

Le choix logique des indications semble ainsi possible, et doit permettre une amélioration de l'efficacité actuelle de l'analgésie électrique transcutanée.

Le Président de la Thèse

Docteur L.MANSUY

Vu, le Directeur l'Unité
ALEXIS CARREL

Vu et Permis d'Imprimer
LYON, le 18 NOV 1977
Le Président de l'Université
Président du Comité de Coordination
des Etudes Médicales.

Professeur R. MORNEIX

D. GERMAIN

B I B L I O G R A P H I E

1 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - ALBE-FESSARD D., FESSARD A.
Recent advances on the neurophysiological bases of pain sensation (Progrès récents concernant les bases neuro-physiologiques de la sensation douloureuse).
ACTA NEUROBIOLOGIAE EXPERIMENTALIS. 35, 715-740, 1975.
- 2 - ANDERSSON S.A., HANSSON H., HOLMGREN E., RENBERG O.
Evaluation of the pain suppressive effect of different frequencies of peripheral electrical stimulation in chronic pain conditions (Evaluation de l'effet antalgique de différentes fréquences de stimulation électrique périphérique dans des cas de douleur chronique).
ACTA ORTHOPEDICA SCANDINAVICA. 47, 149-157, 1976.
- 3 - APPENZELLER O.
Headache (Les céphalées).
CURRENT THERAPY. 682-684, 1974.
- 4 - APPENZELLER O., ATKINSON R.
Transkutane nervenreizung zur behandlung der migräne und anderer kopfschmerzen (L'excitation transcutanée des nerfs dans le traitement de la migraine et des autres céphalées).
MUNCHNER MEDIZINISCHE WOCHENSCHRIFT 117, 1953-1954, 1975.
- 5 - AUGUSTINSSON L.E., CARLSSON C.A., LUND S.
Transkutan elektrisk stimulering vid kroniska smärttillstånd (Stimulation électrique transcutanée des états douloureux chroniques).
OPUSCULA MEDICA 19, 199-209, 1974.
- 6 - BANERJEE T.
Transcutaneous nerve stimulation for pain after spinal injury (la stimulation transcutanée des nerfs dans les douleurs après lésion spinale).
THE NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE 291, 796, 1974.
- 7 - BATES J.A.V.
Relief of chronic pain by transcutaneous stimulation. Analysis of 100 consecutive failures (Le soulagement des douleurs chroniques par stimulation transcutanée : analyse de 100 échecs consécutifs).
ABSTRACTS OF THE FIRST WORLD CONGRESS ON PAIN (Florence September 5-8 1975) p. 178.
- 8 - BERNARD P.D.
Bases physiques, physiologiques et techniques de la diadynamothérapie.
JOURNAL DE RADIOLOGIE D'ELECTROLOGIE. 31, 22-32, 1950.

- 9 - BLOEDEL J.R., MCCREERY D.B.
Organization of Peripheral and central pain pathways (Organisation des voies de conduction périphériques et centrales de la douleur).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 65-81, 1975.
- 10 - BOLZONI M.
Le puzzle des enkephalines.
LA RECHERCHE 7, 886, 1976.
- 11 - BOSWELL R.S., TIWARI R.K.
Transcutaneous neural stimulation for chronic pain syndrome in spinal cord injured patients (la stimulation transcutanée des nerfs dans les syndromes douloureux chroniques des malades blessés à la moelle épinière.)
ABSTRACTS OF THE FIRST WORLD CONGRESS ON PAIN (Florence september 5-8 1975)
p. 182.
- 12 - BOWSHER D.
L'évolution des neurones chez les vertébrés.
LA RECHERCHE 72, 935-944, 1976.
- 13 - BRENNEN K.R.
The characterization of transcutaneous stimulating electrodes (Les caractéristiques des électrodes de stimulation transcutanées).
I.E.E.E. TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING. BME 23, 337-340, 1976.
- 14 - BURTON C.V.
Transcutaneous electrical nerve stimulation to relieve pain (La stimulation électrique transcutanée des nerfs pour soulager la douleur).
POSTGRADUATE MEDICINE 596, 105-108, 1976.
- 15 - BURTON C.V., MAURER D.D.
Pain suppression by transcutaneous electronic stimulation (La suppression de la douleur par stimulation électronique transcutanée).
I.E.E.E. TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING BME 21, 81-88, 1974.
- 16 - BURTON C.V., MAURER D.D.
Surface electrical stimulation (transcutaneous) for the relief of pain (La stimulation électrique externe transcutanée pour le soulagement de la douleur).
BIOLOGIC AND CLINICAL EFFECTS OF LOW FREQUENCY MAGNETIC AND ELECTRICAL FIELDS
J.J. LLAURADO et al Editors. p. 231-240. THOMAS SPRINGFIELD ILLINOIS 1974.
- 17 - BURTON C.V., MAURER D.D.
Solvent activated current passing tape electrodes for transcutaneous electrical stimulation of the peripheral nervous system (Electrodes-rubans activées par solvant pour la stimulation électrique transcutanée du système nerveux périphérique).
I.E.E.E. TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING. BME 23, 346-347, 1976.
- 18 - CAMPBELL J.N., TAUB A.
Local analgesia from percutaneous electrical stimulation : a peripheral mechanism (L'analgésie locale par stimulation électrique percutanée : mécanisme périphérique).
ARCHIVES OF NEUROLOGY 28, 347-350, 1973.

- 19 - CAUTHEN J.C., RENNER E.J.
Transcutaneous and peripheral nerve stimulation for chronic pain states
(La stimulation transcutanée et périphérique dans les douleurs chroniques).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 102-104, 1975.
- 20 - CLARK K.
Electrical stimulation of the nervous system for control of pain ; University
of Texas Southwestern medical school experience (La stimulation électrique
du système nerveux pour le traitement de la douleur : résultats de l'Ecole
de médecine sud-ouest de l'Université du Texas).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 164-166, 1975.
- 21 - DAVIS R., LENTINI R.
Transcutaneous nerve stimulation for treatment of pain in patients with
spinal cord injury (La stimulation transcutanée des nerfs pour le traitement
de la douleur chez des malades avec lésions de la moelle épinière).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 100-101, 1975.
- 22 - DEVOR M., WALL P.D.
Type of sensory nerve fibre sprouting to form a neuroma (Les variétés de
fibres sensorielles nerveuses qui bourgeonnent et forment les névromes.)
NATURE 262, 705-708, 1976.
- 23 - DUBUISSON D., MELZACK R.
Classification of clinical pain descriptions by multiple group discriminant
analysis (La classification des descriptions de douleurs cliniques par
l'analyse de plusieurs ensembles de facteurs distinctifs).
EXPERIMENTAL NEUROLOGY. 51, 480-487, 1976.
- 24 - DYCK P.J., THOMAS P.K., LAMBERT E.H.
Peripheral Neuropathy (Pathologie des nerfs périphériques).
SAUNDERS, PHILADELPHIE, 1975.
- 25 - EBERSOLD M.J., LAWS E.R., STONNINGTON H.H., STILLWELL G.K.
Transcutaneous electrical stimulation for treatment of chronic pain : a
preliminary report (La stimulation électrique transcutanée pour le traitement
des douleurs chroniques : rapport préliminaire).
SURGICAL NEUROLOGY. 4, 96-99, 1975.
- 26 - EDITORIAL
Abolition of pain by electric stimulation (Abolition de la douleur par
stimulation électrique).
HEADACHE 7, 134, 1967.
- 27 - EDITORIAL
A new approach to pain (Une nouvelle approche de la douleur).
EMERGENCY MEDICINE March 1974.
- 28 - ERICKSON D.L.
Percutaneous trial of stimulation for patient selection for implantable
stimulation devices (Essais percutanés de stimulation pour la sélection des
malades avant mise en place de dispositifs implantés).
JOURNAL OF NEUROSURGERY 43, 440-444, 1975.

- 29 - FELSORY A., CRUE B.L.
Results from transcutaneous high cervical electrical cordotomy (Résultats de la section fonctionnelle électrique" transcutanée de la moelle cervicale haute).
PAIN RESEARCH AND TREATMENT B.L. CRUE J.R. Editor p. 283-288. ACADEMIC PRESS, New York, 1975.
- 30 - FIELDS H.L., ADAMS J., HOSOBUCHI Y.
Peripheral nerve and cutaneous electrophalgesia (L'Analgésie électrique des nerfs périphériques et de la peau).
ADVANCES IN NEUROLOGY 4, 749-754, 1974.
- 31 - FORDYCE W.E., FOWLER R.S., LEHMANN J.F.
Operant conditioning in the treatment of chronic pain (Le conditionnement du comportement dans le traitement des douleurs chroniques).
ARCHIVES OF PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION. 54, 399-408, 1973.
- 32 - FOX J.L.
Neuropacemaker for relief of intractable pain (L'"entraîneur neurologique" pour le soulagement des douleurs rebelles).
MEDICAL ANNALS OF THE DISTRICT OF COLUMBIA. 40, 577-579, 1971.
- 33 - FOX J.L.
Recent advances in neurological surgery (Progrès récents en neurochirurgie).
MEDICAL ANNALS OF THE DISTRICT OF EDMONTON 40, 88-91, 1971.
- 34 - FOX E.J., MELZACK R.
Transcutaneous electrical stimulation and acupuncture : comparison of treatment for low back pain (La stimulation électrique transcutanée et l'acupuncture : comparaison pour le traitement des lombalgies).
PAIN 2, 141-148, 1976.
- 35 - FREESE A.
Controlling pain (Le contrôle de la douleur).
TODAYS HEALTH February 1973.
- 36 - GAUMER W.R.
Electrical stimulation in chronic pain (La stimulation électrique dans la douleur chronique).
AMERICAN JOURNAL OF NURSING 74, 504-505, 1974.
- 37 - GLEASON C., FENSTEIN B., WISE B., WRIGHT JR E.
Transcutaneous electrical nerve stimulation for pain management : acute and chronic effects (La stimulation électrique transcutanée des nerfs pour le traitement de la douleur : effets aigus ou chroniques).
NEUROSURGICAL REVIEW February 1975.
- 38 - GREENHOOT J.H.
The management of intractable pain : present status and future expectations (Le traitement de la douleur rebelle : état actuel et perspectives d'avenir).
VIRGINIA MEDICAL MONTHLY 97, 117-120, 1970.

- 39 - GUENOT J.
Contribution à l'étude de l'anesthésie locale par des impulsions rectangulaires de basse fréquence.
THESE PARIS 1953 (n° 787).
- 40 - GUILBAUD G.
Pourquoi les nerfs régénérés font-ils mal ?
LA RECHERCHE 8, 90-91, 1977.
- 41 - GUNN C.C., MILBRANDT W.E.
Review of 100 patients with low back strain treated by surface electrode stimulation of acupuncture points (Revue de 100 malades avec surcharge lombaire traités par stimulation des points d'acupuncture à l'aide d'électrodes de surface).
AMERICAN JOURNAL OF ACUPUNCTURE 3, 224-232, 1975.
- 42 - HANDWERKER H.O., IGGO A., ZIMMERMANN M.
Segmental and supraspinal actions on dorsal horn neurons responding to noxious and non noxious skin stimuli (Influences segmentaires et centrales s'exerçant sur des neurones de la corne dorsale réagissant respectivement à des stimulus nociceptifs et non nociceptifs.)
PAIN 1, 147-165, 1975.
- 43 - HORN A.S., RODGERS J.R.
Structural and conformational relationships between the enkephalins and the opiates (Relations structurelles et conformationnelles entre les encéphalines et les opiacés).
NATURE 260, 795-797, 1976.
- 44 - HOSOBUCHI M.D., ADAMS J.E., WEINSTEIN P.R.
Preliminary percutaneous dorsal column stimulation prior to permanent implantation (La stimulation percutanée de la colonne dorsale comme méthode préliminaire avant implantation permanente).
JOURNAL OF NEUROSURGERY 37, 242-245, 1972.
- 45 - HYMES A.C., RAAB D.E., YONEHIRO E.G., NELSON G.D., PRINTY R.N.
Electrical surface stimulation for the control of acute postoperative pain and prevention of ileus (La stimulation électrique externe pour le contrôle des douleurs aiguës postopératoires et la prévention de l'ileus).
SURGICAL FORUM 24, 446-449, 1973.
- 46 - HYMES A.C.
Electrical stimulation reduces complications after surgery (La stimulation électrique réduit les complications postopératoires).
JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION 230, 1623-1624, 1974.
- 47 - HYMES A.C., RAAB D.E., YONEHIRO E.G., NELSON G.D., PRINTY A.L.
Acute pain control by electrostimulation : A preliminary report. (Le contrôle des douleurs aiguës par stimulation électrique : rapport préliminaire).
ADVANCES IN NEUROLOGY 4, 761-767, 1974.

- 48 - IGNELZI R.J., NYQUIST J.K.
Direct effect of electrical stimulation on peripheral nerve evoked activity : implications in pain relief (L'effet direct de la stimulation électrique sur l'activité provoquée des nerfs périphériques : conséquences en analgésie).
JOURNAL OF NEUROSURGERY 45, 159-165, 1976.
- 49 - INDECK W., PRINTY A.
Skin application of electrical impulses for relief of pain in chronic orthopaedic conditions (L'application à la peau d'impulsions électriques pour le soulagement de la douleur chronique en orthopédie).
MINNESOTA MEDICINE 58, 305-309, 1975.
- 50 - JERVA M.J.
Transcutaneous neurostimulation (La stimulation nerveuse transcutanée).
PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MEDICINE OF CHICAGO.31, 35-36, 1976.
- 51 - JOHNSON I.
Transcutaneous electrical stimulation (La stimulation électrique transcutanée)
JOURNAL OF NEUROSURGICAL NURSING 7, 87-90, 1975.
- 52 - KAADA B.
Neurophysiology and acupuncture : a review (Mise au point : Neurophysiologie et Acupuncture).
ADVANCES IN PAIN RESEARCH AND THERAPY 1, 733-741, 1976.
- 53 - KAHN A.R., MAVEUS T.C.
Technical aspects of electrical stimulation devices (Aspects techniques des dispositifs de stimulation électrique).
MEDICAL PROGRESS AND TECHNOLOGY. 1, 58-68, 1972.
- 54 - KANE K., TAUB A.
A history of local electrical analgesia (Une histoire de l'analgésie électrique localisée).
PAIN 1, 125-138, 1975.
- 55 - KANO T., COWAN G., SMITH R.H.
An electrical probe for the localization of superficial sensory nerves (Une sonde électrique pour la localisation des nerfs sensitifs superficiels).
AMERICAN JOURNAL OF CHINESE MEDICIN 2, 75-77, 1974.
- 56 - KELLAWAY P.
The part played by electric fish in the early history of bioelectricity and electrotherapy (Le rôle de la torpille dans l'histoire ancienne de la bioélectricité et de l'électrothérapie).
BULLETIN OF THE HISTORY OF MEDICINE 20, 112, 1946.
- 57 - KERR F.W.L.
Pain : a central inhibitory balance theory (Une théorie de la douleur : l'équilibre par inhibition centrale).
MAYO CLINIC PROCEEDINGS 50, 685-690, 1975.

- 58 - KERR F.W.L.
Neuroanatomical substrates of nociception in the spinal cord (les bases neuro-anatomiques de la nociception dans la moelle épinière).
PAIN 1, 325-356, 1975.
- 59 - W.M. KIRSCH
A new method of managing chronic pain (Une nouvelle méthode de traitement des douleurs chroniques).
MEDICAL TIMES 102, 115-118, 1974.
- 60 - KIRSCH W.M., LEWIS J.A., SIMON R.H.
Experiences with electrical stimulation devices for the control of chronic pain (Essais de dispositifs électriques de stimulation pour le contrôle des douleurs chroniques).
MEDICAL INSTRUMENTATION 9, 217-220, 1975.
- 61 - KOSTERLITZ H.W., HUGUES J.
Some thoughts on the significance of enkephalin, the endogenous ligand (Considérations sur la signification de l'encéphaline, la molécule endogène fixée aux récepteurs de la morphine).
LIFE SCIENCES 17, 91-96, 1975.
- 62 - KRAINICK J.U., KREKELER G., THODEN U.
Zur schmerzunterdrückung im trigeminusbereich durch elektrische reizung (La suppression de la douleur dans le territoire du trijumeau par la stimulation électrique).
ZAHNARZTLISCHE WELT. 83, 703-704, 1974.
- 63 - KRAINICK J.U., THODEN U.
Schmerzphänomane bei amputierten : klinik, deutungsversuche und behandlungsmöglichkeiten (Les phénomènes douloureux chez les amputés : clinique, essai d'interprétation et possibilités de traitement).
NEUROCHIRURGIA 19, 72-80, 1976.
- 64 - LAITINEN L.
Acupuncture and transcutaneous electric stimulation in the treatment of chronic sacrolumbalgia and ischialgia (L'acupuncture et la stimulation électrique transcutanée dans le traitement des douleurs chroniques lombaires, sacrées et ischiatiques).
AMERICAN JOURNAL OF CHINESE MEDICINE 4, 169-175, 1976.
- 65 - LAITINEN L.
Placement des électrodes dans la stimulation transcutanée de la douleur chronique.
NEURO-CHIRURGIE 22, 517-526, 1976.
- 66 - LAITINEN L., KOHONEN T.
Transkutaaninen hermostimulaatio uusi menetelma kiputilojen hoidossa (La stimulation transcutanée des nerfs dans le traitement des douleurs rebelles)
DUODECIM 91, 881-885, 1975.

- 67 - LAZORTHE Y., VERDIE J.C.
La stimulation électrique transcutanée à visée analgésique.
CAHIERS DE REEDUCATION ET DE READAPTATION FONCTIONNELLES. 10, 269-272, 1975.
- 68 - LAZORTHE Y., VERDIE J.C., LAGARRIGUE J., ROHNER J.S., FARNARIER G., PLANCHE D. SEDAN R.
Place de la stimulation électrique cutanée dans l'indication d'implantation d'un stimulateur analgésique.
NEURO CHIRURGIE 21, 191-204, 1975.
- 69 - LENTINI R., DAVIS R., GOLDSTEIN J.
Modifiable inexpensive electrodes for transcutaneous stimulation.
(Electrodes modifiables et bon marché pour la stimulation transcutanée).
JOURNAL OF NEUROSURGERY 41, 262-264, 1974.
- 70 - LINDBLOM U., MEYERSON B.A.
Influence on touch, vibration and cutaneous pain of dorsal column stimulation in man (Influence de la stimulation de la moelle épinière sur la sensibilité tactile et vibratoire et sur la douleur cutanée chez l'homme).
PAIN 1, 257-270, 1975.
- 71 - LINZER M., LONG D.M.
Transcutaneous neural stimulation for relief of pain (la stimulation transcutanée des nerfs pour le soulagement de la douleur).
I.E.E.E. TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING B.M.E. 23, 341-345, 1976.
- 72 - LIPPMANN M., FIELDS W.A.
Burns of the skin caused by a peripheral nerve stimulation (Brûlures de la peau causées par un stimulateur des nerfs périphériques).
ANESTHESIOLOGY 40, 82-84, 1974.
- 73 - LIPTON S.
The treatment of intractable pain (Le traitement des douleurs rebelles).
PRACTITIONER 215, 461-465, 1975.
- 74 - LOESER J.D.
The relief of pain by transcutaneous stimulation (Le soulagement de la douleur par stimulation transcutanée).
NEUROSURGICAL REVIEW, February 1975.
- 75 - LOESER J.D., WARD A.A.
Some effects of deafferentation on neurons of the cat spinal cord (Quelques effets de la deafferentation sur les neurones de la moelle épinière du chat).
ARCHIVES OF NEUROLOGY 17, 629-636, 1967.
- 76 - LOESER J.D., BLACK R.G., CHRISTMAN A.
Relief of pain by transcutaneous stimulation (Le soulagement de la douleur par stimulation transcutanée).
JOURNAL OF NEUROSURGERY 42, 308-314, 1975.
- 77 - LONG D.M.
New methods of pain relief (Nouvelles méthodes pour le soulagement de la douleur).
MINNESOTA MEDICINE 55, 564, 1972.

- 78 - LONG D.M.
Cutaneous afferent stimulation for relief of chronic pain (La stimulation cutanée afférente pour le soulagement de la douleur chronique).
CLINICAL NEUROSURGERY 21, 257-268, 1974.
- 79 - LONG D.M.
External electrical stimulation as a treatment of chronic pain (La stimulation électrique externe dans le traitement de la douleur chronique).
MINNESOTA MEDICINE 57, 195-198, 1974.
- 80 - LONG D.M.
Recent advances in the management of pain (Progrès récents dans le traitement de la douleur).
MINNESOTA MEDICINE 57, 705-709, 1974.
- 81 - LONG D.M.
Use of peripheral and spinal cord stimulation in the relief of chronic pain (Usage de la stimulation périphérique ou médullaire dans le soulagement de la douleur chronique).
ADVANCES IN PAIN RESEARCH AND THERAPY 1, 395-403, 1976.
- 82 - LONG D.M.
Cutaneous afferent stimulation for the relief of pain (La stimulation afférente cutanée pour le soulagement de la douleur).
PROGRESS IN NEUROLOGICAL SURGERY 7, 35-51, 1976.
- 83 - LONG D.M., HAGFORS N.
Electrical stimulation of the nervous system : the current status of electrical stimulation of the nervous system for relief of pain (La stimulation électrique du système nerveux : situation actuelle de la stimulation électrique du système nerveux à visée antalgique).
PAIN 1, 109-123, 1975.
- 84 - LYNCH G., DEADWYLER S., COTMAN C.
Postlesion axonal growth produces permanent functional connections (La croissance axonale postlésionnelle aboutit à des connexions permanentes et fonctionnelles).
SCIENCE 180, 1364-1366, 1973.
- 85 - LYNN B.
Physiology of the activation of pain (Physiologie de l'apparition de la douleur).
PROGRESS IN NEUROLOGICAL SURGERY 7, 1-34, 1976.
- 86 - MAMO H.
Bases neurophysiologiques de la douleur.
LA VIE MEDICALE 40-41, 3247-3268, 1976.
- 86 bis - MANSUY L., PADOVANI P.
Les moignons douloureux des membres. Rapport présenté au 50e congrès de chirurgie PARIS 1947 et
JOURNAL DE CHIRURGIE 63, 527-549, 1947.

- 87 - MANSUY L., SINDOU M., FISCHER G., GERIN P.
Etat actuel de la physiologie de la douleur au niveau médullaire.
LA NOUVELLE PRESSE MEDICALE 3, 313-317, 1974.
- 87 bis - MANSUY L., SINDOU M.
Physiology of pain at the spinal cord level and its neurosurgical applications (Physiologie de la douleur au niveau médullaire et ses applications neurochirurgicales).
PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS OF NEUROLOGICAL SURGERY -
SAO PAOLO June 19-25, 1977.
TO BE PUBLISHED in "EXCERPTA MEDICA-AMSTERDAM).
- 88 - MAYER D.J., PRICE D.D.
Central nervous system mechanisms of analgésia (Les mécanismes d'analgésie dans le système nerveux central).
PAIN 2, 379-404, 1976.
- 89 - MAZARS F.
Etat actuel de la chirurgie de la douleur.
NEUROCHIRURGIE 22/1, 1-164, 1976.
- 90 - MEDICUS
L'émetteur antidouleur.
L'EXPRESS 1110, 106, 1972.
- 91 - MELZACK R.
The McGill pain questionnaire : major properties and scoring methodes (Le questionnaire de Mac Gill sur la douleur : propriétés principales et méthode de décompte).
PAIN 1, 277-300, 1975.
- 92 - MELZACK R.
Prolonged relief of pain by brief, intense transcutaneous somatic stimulation (Soulagement prolongé de la douleur à la suite d'une stimulation somatique transcutanée brève et intense).
PAIN 1, 357-373, 1975.
- 93 - MELZACK R., WALL P.D., WEISZ A.Z.
Masking and metacontrast phenomenon in the skin sensory system (Phénomènes de masque et de contraste dans le système sensoriel cutané).
EXPERIMENTAL NEUROLOGY 8, 35-46, 1963.
- 94 - MELZACK R., WALL P.
Pain mechanisms : a new theory (Mécanismes de la douleur : une nouvelle théorie).
SCIENCE 150, 971-979, 1965.
- 95 - MEYER G.A., FIELDS H.L.
Causalgia treated by selective large fiber stimulation of peripheral nerves (traitement des causalgies par stimulation sélective des grosses fibres des nerfs périphériques).
BRAIN 95, 163-168, 1972.

- 96 - MULLER-SUUR N., FREY R., GERBERS-HAGEN H.U., PANHANS C., WEITZ D.
The influence of transcutaneous nerve stimulation on chronic intractable pain (L'influence de la stimulation transcutanée des nerfs sur la douleur chronique rebelle).
ABSTRACTS OF THE FIRST WORLD CONGRESS ON PAIN (Florence september 5-8, 1975) p. 184.
- 97 - MUMFORD J.M.
Influence of transcutaneous neural stimulation on the pain threshold of human teeth (Influence de la stimulation transcutanée des nerfs sur le seuil douloureux des dents de l'homme).
ADVANCES IN PAIN RESEARCH AND THERAPY 1, 415-419, 1976.
- 98 - NASHOLD B.S., GOLDNER J.L.
Electrical stimulation of peripheral nerves for relief of intractable chronic pain (La stimulation électrique des nerfs périphériques pour le soulagement des douleurs rebelles chroniques).
MEDICAL INSTRUMENTATION 9, 224-225, 1975.
- 99 - NATHAN P.W.
The gate control theory of pain : a critical review (La théorie du contrôle de porte : mise au point critique).
BRAIN 99, 123-158, 1976.
- 100- NATHAN P.W., RUDGE P.
Testing the gate control theory of pain in man (Contrôle de la validité de la théorie du contrôle de porte sur l'homme).
JOURNAL OF NEUROLOGY, NEUROSURGERY AND PSYCHIATRY 37, 1366-1372, 1974.
- 101- NATHAN P.W., WALL P.D.
Treatment of postherpetic neuralgia by prolonged electric stimulation (Le traitement de la névralgie après zona par stimulation électrique prolongée).
BRITISH MEDICAL JOURNAL 3, 645-647, 1974.
- 102- NEWMAN P.P.
Electrical method for controlling pain (Méthode électrique de contrôle de la douleur).
NATURE 243, 474-475, 1973.
- 103- NGUYEN VAN NGHI, MAI VAN DONG, ULDERICO LANZA.
Théorie et pratique de l'analgésie par acupuncture.
THESE MARSEILLE 1974.
- 103 bis - NOORDENBOS W.
Pain (La douleur).
ELSEVIER, AMSTERDAM, 1959.
- 104- PARAF P.
Traitement des algies par les dourants diadynamiques.
BULLEINS ET MEMOIRS DE LA SOCIETE MEDICALE DES HOPITAUX DE PARIS, 64, 114-115, 1948.

- 105 - PATY J., BARAT M.
Neurophysiologie et traitement de la douleur.
BORDEAUX MEDICAL 7, 789-804, 1975.
- 106 - PHILIPPON J., FOHANNO D., GAZENGEL J.
Traitement des syndromes douloureux chroniques par stimulation transcutanée.
NEUROCHIRURGIE 23, 89-92; 1977.
- 107 - PICAZA J.A., CANNON B.W., HUNTER S.E., BOYD A.S., GUMA J., MAURER D.
Pain suppression by peripheral nerve stimulation ; part 1 : observations with transcutaneous stimuli (La suppression de la douleur par stimulation des nerfs périphériques ; 1ère partie : observations avec stimuli transcutanés)
SURGICAL NEUROLOGY 4, 105-114, 1975.
- 108 - PRITHVI RAJ.P., MONTGOMERY S.J.
Experiences with transcutaneous stimulator (Essais de stimulateurs transcutanés).
ABSTRACTS OF THE FIRTS WORLD CONGRESS ON PAIN (Florence 5-8 September 1975) p. 191.
- 109 - PROCACCI P., ZOPPI M., MARESCA M.
Recent advances in the anatomy and physiology of pain (Progrès récents dans l'anatomie et la physiologie de la douleur).
JOURNAL OF NEUROSURGICAL SCIENCES 17, 115-156, 1973.
- 110 - PROCACCI P., ZOPPI M., MARESCA M.
La terapia delle sindromi dolorose con stimolazione elettrica. (Electroanalgesia) (Le traitement des syndromes douloureux par la stimulation électrique (Electro-analgésie).
CLINICA TERAPEUTICA 73, 465-474, 1974.
- 111 - RAY C.D. (EDITOR).
Electrical stimulation of the human nervous system for the control of pain (la stimulation électrique du système nerveux humain pour le contrôle de la douleur) (Minneapolis pain seminar, December 6-8, 1973).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 65-204, 1975.
- 112 - RAY C.D., MAURER D.D.
Electrical neurological stimulation systems : a review of contemporary methodology (Les systèmes de stimulation neurologique électrique ; une revue des méthodes contemporaines).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 82-92, 1975.
- 113 - SCOTT J., HUSKISSON E.C.
Graphic representation of pain (La représentation graphique de la douleur).
PAIN 2, 175-184, 1976.
- 114 - SHEALY C.N.
Transcutaneous electroanalgesia (L'analgésie électrique transcutanée).
SURGICAL FORUM 23, 419-421, 1972.

- 115 - SHEALY C.N.
Transcutaneous electrical stimulation for control of pain (La stimulation électrique transcutanée pour contrôler la douleur).
CLINICAL NEUROSURGERY 21, 269-277, 1974.
- 116 - SHEALY C.N.
The viability of external electrical stimulation as a therapeutic modality (La valeur de la stimulation électrique externe comme moyen thérapeutique).
MEDICAL INSTRUMENTATION 9, 211-212, 1975.
- 117 - SHEALY C.N.
Electrical stimulation ; the primary method of choice in pain relief (La stimulation électrique : méthode préliminaire de choix dans le soulagement de la douleur).
COMPREHENSIVE THERAPY. 1, 41-45, 1975.
- 118 - SHEALY C.N., MAVRER D.
Transcutaneous nerve stimulation for control of pain : a preliminary technical note (la stimulation transcutanée des nerfs pour le contrôle de la douleur : note technique préliminaire).
SURGICAL NEUROLOGY 2, 45-47, 1974.
- 119 - SHEALY C.N., TASLITZ N., HOCHBERG F.
Physiological standardization of analgesics and anesthetics (Standardisation physiologique des analgésiques et anesthésiques).
THE JOURNAL LANCET 88, 124-128, 1968.
- 120 - SINCLAIR D.C.
Cutaneous sensation and the doctrine of specific energy (la sensibilité cutanée et la doctrine de l'énergie spécifique).
BRAIN 78, 584-614, 1955.
- 121 - SINDOU M.
Neurochirurgie de la douleur.
LA VIE MEDICALE 40-41, 3283-3306, 1976.
- 122 - SINDOU M., FISCHER G., LAPRAS C., GERIN P., MANSUY L.
Connaissances actuelles sur la physiologie de la douleur : le contrôle médullaire.
CAHIERS MEDICAUX LYONNAIS 49, 445-481, 1973.
- 123 - SINDOU M., FISCHER G., MANSUY L.
Posterior spinal rhizotomy and selective posterior rhizidiotomy (Section des racines postérieures spinales et Section sélective des radicelles postérieures).
PROGRESS IN NEUROLOGICAL SURGERY 7, 201-250, 1976.
- 124 - SPIERDIJK J., LUIJENDIJK W., GRAVELOTTE-MULDER J.R.
La stimulation nerveuse transcutanée à visée analgésique.
CAHIERS D'ANESTHESIOLOGIE 23, 821-824, 1975.

- 125 - STERNBACH R.A.
Evaluation of pain relief (Evaluation de la diminution de la douleur).
SURGICAL NEUROLOGY 4, 199-201, 1975.
- 126 - STERNBACH R.A.
Psychological factors in pain (Les facteurs psychologiques de la douleur).
ADVANCES IN PAIN RESEARCH AND THERAPY 1, 293-299, 1976.
- 127 - STERNBACH R.A., IGNELZI R.J., DEEMS L.M., TIMMERMANS G.
Transcutaneous electrical analgesia : a follow up analysis (L'analgésie électrique transcutanée : une analyse des résultats à terme).
PAIN 2, 35-42, 1976.
- 128 - STILLINGS D.
A survey of the history of electrical stimulation for pain to 1900 (Un survol de l'histoire de la stimulation électrique analgésique jusqu'en 1900).
MEDICAL INSTRUMENTATION 9, 255-259, 1975.
- 129 - STONNINGTON H.H., STILLWELL G.K., EBERSOLD M.J., THORSTEINSSON G., LAWS E.R.
Transcutaneous electrical stimulation for chronic pain relief ; a pilot study. (La stimulation électrique transcutanée pour le soulagement des douleurs chroniques : études préliminaires).
MINNESOTA MEDICINE 50, 681-683, 1976.
- 130 - SUKAHARA N.T., HULTBORN H., MURAKAMI F., FUJITO Y.
Electrophysiological study of formation of new synapses and collateral sprouting in red nucleus neurons after partial denervation (Etude électrophysiologique de la formation de nouvelles synapses et du bourgeonnement collatéral dans les neurones du noyau rouge après dénervation partielle).
JOURNAL OF NEUROPHYSIOLOGY 38, 1359-1372, 1975.
- 131 - SWEET W.H.
Specific neural stimulation for inhibition of pain (Stimulation des nerfs particulières en vue de l'inhibition de la douleur).
PROCEEDINGS OF THE AUSTRALIAN ASSOCIATION OF NEUROLOGISTS 5, 459-461, 1968.
- 132 - SWEET W.H.
Lessons on pain control from electrical stimulation (leçons sur le contrôle de la douleur par stimulation électrique).
TRANSACTIONS OF THE COLLEGE OF THE PHYSICIANS OF PHILADELPHIE 35, 171-184, 1968.
- 133 - SWEET W.H., WEPSIC J.G.
Treatment of chronic pain by stimulation of fibers of primary afferent neurone (Traitement de la douleur chronique par stimulation des fibres du neurone afférent primaire).
TRANSACTIONS OF THE AMERICAN NEUROLOGICAL ASSOCIATION, 93, 103-107, 1968.
- 134 - SWEET W.H., WEPSIC J.G.
Control of pain by focal electrical stimulation for suppression (Contrôle de la douleur par stimulation électrique antalgique localisée).
ARIZONA MEDICINE 26, 1042-1045, 1969.

- 135 - TAUB A., CAMPBELL J.N.
Percutaneous local electrical analgesia : peripheral mechanisms (L'analgésie locale électrique percutanée : mécanismes périphériques).
ADVANCES IN NEUROLOGY 4, 727-732, 1974.
- 136 - THODEN U., KRAINICK J.V.
Ambulante schmerzbehandlung durch transkutane nervenstimulation (Le traitement de la douleur en ambulatoire par stimulation nerveuse transcutanée).
DEUTSCHE MEDIZINISCHE WOCHENSCHRIFT 99, 1692-1693, 1974.
- 137 - THOMAS P.K.

CANADIAN JOURNAL OF NEUROLOGY 5, 92-97, 1974.
- 138 - THORSTEINSSON G., STONNINGTON H.H., STILLWELL G.K., ELVABACK L.R.
Transcutaneous electrical stimulation for pain (La stimulation électrique transcutanée pour la douleur).
ARCHIVES OF PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION 55, 592, 1974.
- 139 - TIWARI R.K.
Electric stimulator used in control of spinal pain (Un stimulateur électrique utilisé dans le contrôle des douleurs d'origine médullaire).
PARAPLEGIA NEWS 14, September 1974.
- 140 - VAN DER ARK G.D., MCGRATH K.A.
Transcutaneous electrical stimulation in treatment of postoperative pain (la stimulation électrique transcutanée dans le traitement de la douleur postopératoire).
AMERICAN JOURNAL OF SURGERY 130, 338-340, 1975
- 141 - VANDERLINDEN R.G.
Transcutaneous stimulation in the treatment of pain (La stimulation transcutanée dans le traitement de la douleur).
COMPREHENSIVE THERAPY 1, 46-50, 1975.
- 142 - VYKLYCKY L., KELLER O., JASTREBOFF P.
Blocking of A delta tooth pulpe afferents with anodal current (Blocage des fibres A delta afférentes de la pulpe dentaire par un courant anodique).
ABSTRACTS OF THE FIRST WORLD CONGRESS ON PAIN (Florence september 5-8, 1975) p. 174.
- 143 - WALL P.D., SWEET W.H.
Temporary abolition of pain in man (abolition temporaire de la douleur chez l'homme).
SCIENCE 155, 108-109, 1967.
- 144 - WALL P.D.
Modulation of pain by nonpainful events (Modulation de la douleur par des événements non douloureux).
ADVANCES IN PAIN RESEARCH AND THERAPY 1, 1-16, 1976.

- 145 - WAND-TETLEY J.I.
Historical methods of counter-irritation (Histoire des méthodes thérapeutiques par irritation).
ANNALS OF PHYSICAL MEDICINE. 3, 90-98, 1956.
- 146 - WATERFIELD A.A., HUGUES J., KOSTERLITZ H.W.
Cross tolerance between morphine and methionine-enkephalin (Tolérance croisée entre morphine et méthionine-encéphaline).
NATURE 260, 624-625, 1976.
- 147 - WEINSTEIN P.R., SACHS L.B.
Transcutaneous stimulation for the evaluation and treatment of posttraumatic neuralgia (La stimulation transcutanée pour le diagnostic et le traitement de la névralgie post-traumatique).
ABSTRACTS OF THE FIRST WORLD CONGRESS ON PAIN (Florence, September 5-8, 1975), p. 183.
- 148 - WINTER A., WINTER R.L., LAING Y.L.
Pain relief by transcutaneous nerve stimulation (Le soulagement de la douleur par la stimulation transcutanée des nerfs).
THE JOURNAL OF THE MEDICAL SOCIETY OF NEW JERSEY 71, 365-367, 1974.
- 149 - WOODS W.W.
Treatment of acute and chronic posttraumatic pain with transcutaneous electrostimulation (study of 200 patients) (le traitement des douleurs traumatiques aiguës et chroniques par stimulation électrique transcutanée (à propos de 200 cas).
NEUROSURGICAL REVIEW February 1975.
- 150 - WOODS W.W.
Relief of localized pain by transcutaneous electrostimulation (le soulagement des douleurs localisées par stimulation électrique transcutanée).
AMERICAN JOURNAL OF ACUPUNCTURE 3, 133-139, 1975.
- 151 - ZIMMERMAN
Neurophysiology of Nociception.
INTERNATIONAL REVIEW OF PHYSIOLOGY. Vol. 10.
- 152 - ZUMPARO B.J., SAUNDERS R.L.
Percutaneous epidural dorsal column stimulation : technical note. (La stimulation percutanée épidurale de la colonne dorsale : note technique).
JOURNAL OF NEUROSURGERY 43, 459-460, 1976.

Une deuxième série de références regroupe celles dont nous avons eu connaissance après la première rédaction de ce travail :

- 153 - ADLER R.
Praktische probleme der Schmerzbehandlung (Problème pratique du traitement de la douleur).
SCHWEIZERISCHE MEDIZINISCHE WOCHENSCHRIFT. 105, 376-384. 1975.
- 154 - ANDERSSON S.A., BLOCK E., HOLMGREN E.
Lagferkvent Transkutan Elektrisk.
Stimulering for smartlindring vid forlossning (La stimulation électrique transcutanée à basse fréquence pour l'analgésie pendant l'accouchement).
LAKARTIDNINGEN 73, 2421-2423, 1976.
- 155 - APPENZELLER O., ATKINSON R.
La stimolazione nervosa transcutanea nel trattamento dell'emicrania et delle altre cefalee (la stimulation transcutanée de nerfs dans le traitement de la migraine et des autres céphalées).
MINERVA MEDICA 67, 2023-2025, 1976.
- 156 - BOAS R.A., HATANGDI V.S.
Electrical stimulation in the relief of pain : a pilot study (la stimulation électrique pour le soulagement de la douleur : étude préliminaire).
NEW ZEALAND MEDICAL JOURNAL 89, 230-232, 1976.
- 157 - BURTON C.V.
Pain suppression through peripheral nerve stimulation (la suppression de la douleur par stimulation des nerfs périphériques).
in NEURAL ORGANIZATION AND ITS RELEVANCE TO PROSTHEDICS (W.S. FIELDS Editor) pp. 241-250. STRATTEN, New York, 1973.
- 158 - CARLSSON C.A.
E lstimulering vid kronisk lumbago (stimulation électrique dans le lumbago chronique).
LAKARTIDNINGEN 73, 1313, 1976.
- 159 - COPPERMAN A.M., HALL B., SADAR E.S., HARDY Jr. R.W.
Use of transcutaneous electrical stimulation in control of protoperative pain (l'usage de la stimulation électrique transcutanée dans le contrôle de la douleur postopératoire).
SURGICAL FORUM 26, 77-78, 1975.
- 160 - EDITORIAL
Great future seen for pain killing devices (un grand avenir en vue pour les dispositifs supprimant la douleur).
HOSPITALS 50, 59, 1976.
- 161 - EHRMANN W., LEITNER H.V., LUDWIG W., PERSINGER M.A., SODTKE W., THOMAS R.
Entwicklung eines elektromedizinischen Taschengerätes (Mise au point d'un appareil électromédical de poche).
MEDIZINAL MARKT (ACTA MEDICOTECHNICA 8, 282-285, 1976.

- 162 - GALVAN J., BURZACO J.A.
A new transcutaneous stimulator for the nervous system (un nouveau stimulateur transcutané du système nerveux).
MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING 14, 215-219, 1976.
- 163 - HUFSCHMIDT H.J., WUST R.
Die elektrotherapeutische beeinflussung sensibler reiz-und ansfallerscheinungen bei der multiplen sklerose (Modifications par la thérapeutique électrique des manifestations sensorielles douloureuses ou déficitaires de la sclérose multiloculaire).
NERVENARZT 47, 12-18, 1976.
- 164 - IGNEZLI R.J., NYQUIST J.K.
Peripheral nerve stimulation for pain relief effect on cutaneous peripheral nerve evoked activity (l'effet de la stimulation antalgique des nerfs périphériques sur les potentiels évoqués des nerfs cutanés périphériques).
SURGICAL FORUM, 26, 474-476, 1975.
- 165 - IGNEZLI R.J., STERNBACH R.A., CALLAGHAN M.
Somatosensory changes during transcutaneous electrical analgesia (modifications de la sensibilité somatique pendant l'analgésie électrique transcutanée).
ADVANCES IN PAIN RESEARCH AND THERAPY 1, 421-425, 1976.
- 166 - LONG D.M., CAROLAN M.T.
Cutaneous afferent stimulation in the treatment of chronic pain (la stimulation cutanée des afférences dans le traitement des douleurs chroniques).
ADVANCES IN NEUROLOGY 4, 755-759, 1974.
- 167 - MEYERSON B.A., BOETHIUS J., TERENIUS L., WAHLSTROM A.
Endorphin mechanisms in pain relief with intracerebral and dorsal column stimulation (les mécanismes de soulagement de la douleur dans la stimulation du cerveau ou de la moelle épinière par l'intermédiaire des endorphines).
ABSTRACTS OF THE THIRD MEETING OF THE EUROPEAN SOCIETY FOR STEREOTACTIC AND FUNCTIONAL NEUROSURGERY September 19-21 1977 FREIBURG I. BRSG (GERMANY).
- 168 - PICAZA A.
Peripheral nerve stimulation for pain control (la stimulation des nerfs périphériques pour le contrôle de la douleur).
JOURNAL OF THE FLORIDA MEDICAL ASSOCIATION 63, 903-905, 1976.
- 169 - RAY C.D.
Control of pain by electrical stimulation a clinical follow up review (le contrôle de la douleur par stimulation électrique : synthèse de résultats d'évolution clinique à long terme).
ADVANCES IN NEUROSURGERY 3, 216-224, 1975.
- 170 - REUTER E., KREKELTER G., KRAINICK J.V., THODEN V., DOERR M.
Schmerzunterdrückung in Trigeminiusbereich durch transcutane nervenstimulation (suppression de la douleur dans le territoire du trijumeau par stimulation nerveuse transcutanée).
DEUTSCHE ZAHNAERZTLISCHE ZEITSCHRIFT 31 274-276 1976.

- 171 - ROESER W.M., MEEKS L.W., VENIS R., STRICKLAND G.
Use of transcutaneous nerve stimulation for pain control in athletic medicine ; a preliminary report (l'Utilisation de la stimulation transcutanée des nerfs pour le contrôle de la douleur en médecine du sport : rapport préliminaire).
AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE 4, 210-213, 1976.
- 172 - SHEALY C.N.
Six years experience with electrical stimulation for control of pain (une expérience de 6 années dans la stimulation électrique analgésique).
ADVANCES IN NEUROLOGY 4, 775-782, 1974.
- 173 - STIEG R.L.
New methodes for achieving pain control with transcutaneous nerve stimulation (de nouvelles méthodes pour obtenir le contrôle de la douleur par stimulation transcutanée des nerfs).
NEUROLOGY 26, 356, 1976.
- 174 - THORSTEINSSON F., STONNINGTON H.H., STILLWELL G.K., ELVEBACK L.R.
Transcutaneous electrical stimulation : a double blind trial of its efficacy for pain (la stimulation électrique transcutanée : une étude en double aveugle de son efficacité contre la douleur).
ARCHIVES OF PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION 58, 8-13, 1977.
- 175 - VANSEVENTER R., SPIERDIJK J., LUYENDIJK W., ZAPLETAL B., GRAVELLOTTE-MULDER J.R. MENGES L.,
Pijnverlichting door elektrische stimulatie van de huid (Analgésie par stimulation électrique de la peau).
NEDERLANDS TIJDSCHRIFT WOOR GENEESKUNDE 120, 468-472, 1976.
- 176 - WINTER A.
The use of transcutaneous electrical stimulation in the treatment of multiple sclerosis (l'usage de la stimulation électrique transcutanée dans le traitement de la sclérose multiloculaire).
JOURNAL OF NEUROSURGICAL NURSES 8, 125-131, 1976.
- 177 - WALL P.D., CARLEN P.L.
The neurologic findings of recent limb amputation and the effects of electrical counterstimulation in cases of phantom limb pain (Données nouvelles sur les phénomènes neurologiques dans les amputations récentes de membre et effets de la stimulation électrique dans les douleurs du membre fantôme).
NEUROLOGY 26, 356, 1976.

TABLE DES MATIERES DES FIGURES

Figure 1 : Organisation histophysiologique de la moelle	16
2 : Schéma fonctionnel originel de la théorie de la porte	18
3 : Schéma fonctionnel actuellement admis de la théorie de la porte	20
4 : Schéma fonctionnel de l'action des endomorphines	21
5 : Tableau des constructeurs	26
6 : (a, b, c) Aspect extérieur des appareils de stimulation	28
	29
	30
7 : Schéma de principe des générateurs de stimulation	31
8 : Forme des impulsions	33
9 : Schéma des Indications de la Stimulation électrique antalgique .	35
10 : Répartition des dates de début de traitement	38
11 : Résultats de la stimulation selon le délai entre début de la douleur et début du traitement	59
12 : (a, b, c) Evolution des résultats de la stimulation à partir du début du traitement	61
	62
	63

TABLE DES MATIERES

I	:	INTRODUCTION	3
II	:	HISTORIQUE ET EVOLUTION DES METHODES	
		1 - Avant la théorie de la porte	9
		2 - Depuis la théorie de la porte	10
III	:	BASES ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES	
		1 - Eléments anatomiques	15
		2 - Les théories anciennes de la douleur	15
		3 - La théorie de la porte	17
		4 - La neurochimie de la douleur : les endomorphines	19
		5 - L'hyperactivité médullaire de déafférentation	19
IV	:	APPAREILS ET METHODES	
		A - APPAREILS	25
		1 - Les constructeurs	25
		2 - La forme du courant de stimulation	25
		3 - Les générateurs	27
		4 - La forme des impulsions et les réglages possibles	32
		5 - Les électrodes	34
		B - METHODES	34
		1 - Le protocole général	34

2 - Les risques possibles	36
---------------------------------	----

V : RESULTATS DE L'HOPITAL NEUROLOGIQUE DE LYON

1 - Présentation de la série	39
2 - Méthode	39
3 - Les résultats en général	41
4 - Résultats selon le siège de la douleur	42
5 - Résultats selon l'âge et le sexe	43
6 - Résultats selon la cause de la douleur	44
7 - Résultats selon les antécédents de neurochirurgie de la douleur	57
8 - Résultats selon l'ancienneté de la douleur	58
9 - Evolution des résultats dans le temps	60
10 - Incidents et Accidents	64
11 - Commentaires et Conclusions	65

VI : ETUDE DES DONNEES DE LA LITTERATURE

1 - Publications non étudiées	69
2 - Présentation des résultats	70
3 - Résultats d'ensemble	71
4 - Résultats selon la localisation de la douleur	72
5 - Résultats selon la localisation des électrodes	75
6 - Résultats selon la cause de la douleur	77
1ère partie : douleurs chroniques dites neurologiques	
7 - Résultats selon la cause de la douleur	83
2ème partie : causes diverses non neurologiques	
8 - Evolution à long terme des résultats	86
9 - Commentaires et conclusions	87

VII : DISCUSSION

1 - Comparaison de la série de l'Hôpital neurologique et des séries de la littérature	93
---	----

2 - Compatibilité des théories physiopathologiques de
la douleur et des résultats 94

3 - Les facteurs de succès et d'échec 96

4 - Possibilités et limites de l'analgésie électrique trans-
cutanée 98

5 - Place de la méthode transcutanée dans l'analgésie de
stimulation 99

VIII : CONCLUSION 101
